

**TRABAJO DE GRADO: NIEBLA COMO FUENTE ALTERNATIVA PARA
SUMINISTRO DE AGUA**

ELABORADO POR: MANUEL ANTONIO SORIANO MATEUS

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
JULIO GARAVITO**

ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

**BOGOTÁ, COLOMBIA
2015**

DIRECTOR: GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS

A Mamá por el sacrificio, dedicación y amor incondicional, a Carolina por el amoroso y paciente apoyo, a mis hermanos por la compañía y buena energía, a mis amados hermanos perrunos (Tarzán, Lucas, Bruno y Simón).

Por ellos y para ellos.

HOJA DE APROBACIÓN

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
JULIO GARAVITO

ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

NIEBLA COMO FUENTE ALTERNATIVA PARA SUMINISTRO DE AGUA

ELABORADO POR: MANUEL ANTONIO SORIANO MATEUS

DIRECTOR: GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS

FIRMA:

Tabla de Contenido

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2. | RESUMEN | 5 |
| 3. | OBJETIVOS | 7 |
| 3.1 | OBJETIVO GENERAL..... | 7 |
| 3.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 7 |
| 4. | METODOLOGÍA..... | 8 |
| 5. | MARCO TEÓRICO..... | 10 |
| 5.1 | DEFINICIÓN..... | 10 |
| 5.2 | GENERALIDADES..... | 11 |
| 5.2.1 | Tipos de Niebla..... | 11 |
| 5.3 | MEDICIÓN DE NIEBLA..... | 13 |
| 5.3.1 | Neblinómetros..... | 13 |
| 5.3.2 | Medición de parámetros asociados a la niebla..... | 17 |
| 5.4 | ESTIMACIÓN DE AGUA LÍQUIDA A PARTIR DE LA NIEBLA | 19 |
| 6. | EJEMPLOS DE APLICACIÓN | 21 |
| 6.1 | GUATEMALA – TOJQUIA 2006..... | 21 |
| 6.2 | CHILE – EL TOFO / CHUNGUNGO 1987 – 2002 | 22 |
| 6.3 | CHILE – PADRE HURTADO 1999-2004 | 25 |
| 6.4 | PERU – COLLANAC 1993-1994 | 26 |
| 6.5 | PERU – MEJIA 1995 – 1999 | 27 |
| 6.6 | YEMEN – HAJJA/MABIJAN 2003-2005 | 28 |
| 6.7 | CHILE – PADRE HURTADO 1999-2004 | 29 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.8 | PERÚ – COLLANAC 1993-1994 | 30 |
| 6.9 | PERÚ – MEJÍA 1995 – 1999 | 30 |
| 6.10 | YEMEN – HAJJA/MABIJAN 2003-2005 | 32 |
| 7. | LOCALIZACIÓN DE ÁREAS CON POTENCIAL DE NIEBLA..... | 33 |
| 8. | ELECCIÓN DE LUGAR PARA POSIBLE APLICACIÓN..... | 39 |
| 8.1 | ESTIMACIÓN POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA | 47 |
| 8.2 | LOCALIZACIÓN DE CAPTADORES DE NIEBLA | 60 |
| 8.2.1 | Imagen satelital | 60 |
| 8.2.2 | Programa Landsat | 61 |
| 8.2.3 | Trayectoria de la radiancia y reflectancia absoluta..... | 62 |
| 8.2.4 | Archivo de calibración..... | 66 |
| 8.2.5 | Índices de vegetación..... | 67 |
| 9. | DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS PARA ATRAPAR NIEBLA..... | 69 |
| 9.1 | CAPTADOR MACRODIAMANTE..... | 69 |
| 9.2 | CAPTADOR CILÍNDRICO | 70 |
| 9.3 | CAPTADOR BIDIMENSIONAL | 71 |
| 9.3.1 | Postes de Soporte | 72 |
| 9.3.2 | Tensores | 73 |
| 9.3.3 | Malla | 73 |
| 9.3.4 | Canaleta Recolectora | 74 |
| 9.3.5 | Tanque de almacenamiento..... | 74 |
| 10. | CONCLUSIONES GENERALES Y LECCIONES APRENDIDAS..... | 75 |
| 11. | BIBLIOGRAFÍA | 78 |

12. ANEXOS81

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| TABLA 7-1 CÓDIGO DE COLORES PARA IMÁGENES SATELITALES | 34 |
| TABLA 7-2 IMÁGENES SATELITALES GOES PARA COLOMBIA | 36 |
| TABLA 8-1 VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (M/S) | 50 |
| TABLA 8-2 HUMEDAD RELATIVA (%) | 52 |
| TABLA 8-3 PUNTO DE ROCÍO (°C) | 53 |
| TABLA 8-4 TEMPERATURA MEDIA (°C)..... | 55 |
| TABLA 8-5 VALORES RADIOMÉTRICOS USADOS EN SENSORES REMOTOS | 62 |
| TABLA 8-6. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA OBTENER REFLECTANCIA ABSOLUTA | 67 |

Índice de Ilustraciones

| | |
|--|----|
| ILUSTRACIÓN 5-1 NEBLINÓMETRO SIMPLE DE PANTALLA | 14 |
| ILUSTRACIÓN 5-2 NEBLINÓMETRO CILINDRICO JUVIK | 16 |
| ILUSTRACIÓN 5-3 NEBLINÓMETRO DE CUATRO CARAS | 17 |
| ILUSTRACIÓN 5-4 TABLA QUE RELACIONA TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y PUNTO DE ROCÍO | 19 |
| ILUSTRACIÓN 6-1 CAPTADORES DE NIEBLA TOJQUIA GUATEMALA | 22 |
| ILUSTRACIÓN 6-2 NEBLINÓMETROS EL TOFO - CHUNGUNGO | 23 |
| ILUSTRACIÓN 6-3 CAPTADORES DE NIEBLA EL TOFO - CHUNGUNGO | 24 |
| ILUSTRACIÓN 6-4 SISTEMA ABASTECIMIENTO EL TOFO - CHUNGUNGO | 24 |
| ILUSTRACIÓN 6-5 SISTEMA ABASTECIMIENTO PADRE HURTADO | 26 |
| ILUSTRACIÓN 6-6 SISTEMA CAPTADORES DE NIEBLA MEJÍA PERÚ | 28 |
| ILUSTRACIÓN 6-7 SISTEMA ABASTECIMIENTO PADRE HURTADO | 29 |
| ILUSTRACIÓN 6-8 SISTEMA CAPTADORES DE NIEBLA MEJÍA PERÚ | 31 |
| ILUSTRACIÓN 7-1 IMAGEN SATELITAL DE COLOMBIA TIPO INFRARROJO | 34 |
| ILUSTRACIÓN 8-1 DIFERENTES TRAYECTORIAS DE RADIANCIA RECIBIDA POR UN SISTEMA SENSOR REMOTO ... | 64 |
| ILUSTRACIÓN 9-1 CAPTADOR DE NIEBLA TIPO MACRODIAMANTE | 69 |
| ILUSTRACIÓN 9-2 CAPTADOR DE NIEBLA TIPO CILÍNDRICO | 71 |
| ILUSTRACIÓN 9-3 CAPTADOR DE NIEBLA TIPO BIDIMENSIONAL | 72 |

Glosario

CAR: son las siglas para las Corporaciones Autónomas Regionales de Colombia, son entidades de carácter público, encargadas de administrar, dentro de la región correspondiente, el medio ambiente y los recursos naturales.

Flujo Másico: es la velocidad a la cual la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada, expresado en unidades de masa por unidad de tiempo (Kg/s).

GMT: son las siglas para (Greenwich Mean Time), un estándar internacional. Equivale a 5 horas más que la hora oficial colombiana. Por ejemplo: 14:15 GMT equivale a las 9:15, hora local en Colombia.

Humedad Relativa: es la cantidad de vapor de agua que se tiene respecto a la cantidad necesaria para llegar al punto de saturación, se expresa en porcentaje. Un aire saturado tiene humedad relativa de 100% llegando al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de la humedad relativa con una misma temperatura o por el descenso de la temperatura con la misma humedad relativa.

IDEAM: son las siglas para el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, es una entidad del gobierno Colombiano, encargada del manejo de la información hidrológica, meteorológica y todo lo relacionado con el medio ambiente en el territorio colombiano.

Landsat: son una serie de satélites fabricados y puestos en el espacio por los Estados Unidos, cuyo fin es la observación de la superficie terrestre.

NASA: son las siglas en inglés de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration), es una agencia del gobierno estadounidense encargada de la investigación aeronáutica y aeroespacial.

NDVI: siglas para el índice de vegetación (Normalized Difference Vegetation Index, en inglés). Los índices de vegetación se usan para discriminar masas vegetales, en donde se hace uso del comportamiento radiométrico de estas cubiertas. Cuando se quiere observar la vegetación sana se puede identificar observando las bandas del visible especialmente en la banda roja (0,6 a 0,7 μm) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μm).

Neblinómetro: es un dispositivo que permite la medición directa de la cantidad de agua producida por la niebla.

Niebla: es una nube que está en contacto con el suelo, la niebla es una forma visible del vapor de agua en la que no alcanza a presentarse precipitación; está conformada por gotas de agua con diámetros demasiado finos (menores a 0.1 mm) que se forman por la condensación del vapor de agua y son tan pequeñas que se mantienen suspendidas en el aire.

Punto de Rocío: es la temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor de agua que contiene un masa de aire, generando rocío, niebla, neblina, o incluso escarcha si la temperatura es lo suficientemente baja.

Radiación Solar: es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.

Sistemas de Información Geográfica: son un conjunto de herramientas tecnológicas (software) que facilitan el análisis y manipulación de información tomada del mundo real, permiten la interacción de diferentes temas o aspectos, relacionándolos y ayudando a la toma de decisiones, sus siglas son SIG.

Sistema GOES: son un grupo de satélites que permiten la medición de nubosidad, son geostacionarios, al estar quietos en un punto respecto al planeta proporcionan una visión muy aproximada del movimiento de las nubes sobre un área determinada. El sistema GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), pertenece a la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration - U.S.A.) y orbitan en el eje ecuatorial de la tierra.

1. Introducción

El crecimiento exponencial de la humanidad ha generado una demanda incontrolable de recursos extraídos de la naturaleza. Las comunidades han moldeado los territorios de acuerdo con sus necesidades y tradiciones, resultando muchas veces, en la sobreexplotación de las regiones.

El elemento más importante para la supervivencia y desarrollo de las poblaciones es sin duda el agua. Es indispensable en el diario vivir, a nivel rural y urbano para recreación, alimento, aseo, producción agrícola, ganadería e industria. Se constituye en un componente transversal de las actividades diarias. Al aumentar la población se incrementa la demanda del vital líquido, teniendo que innovar en la manera de acceder a éste.

En Colombia, al igual que en otras partes del mundo, muchas comunidades no logran satisfacer la demanda de agua, debido a la localización geográfica y abandono estatal. No tienen acceso a fuentes de suministro que logren compensar la demanda de las distintas actividades vitales para la supervivencia.

Con el crecimiento poblacional ha aumentado la explotación de los recursos, derivando en procesos de erosión y desertificación que conllevan a sequías extremas que afectan las poblaciones humanas, animales y vegetales. Tradicionalmente la fuentes de abastecimiento de agua dulce han sido superficiales (ríos y lagos) o subterráneas (acuíferos). En las últimas décadas han aparecido tratamientos que permiten usar como fuentes lagunas de agua salada o el mar a través de procesos de desalinización.

A pesar de haber estado siempre presente, la niebla ha sido subutilizada como una fuente de abastecimiento de agua para la población humana. Sin embargo algunas especies vegetales y animales si han sabido aprovecharla desde tiempos inmemoriales, por ejemplo los cactus y el escarabajo del desierto de Namibia.

Se tienen indicios del uso de la humedad como fuente de suministro en tiempos antiguos, en las Islas Canarias, México y Chile donde a través de tecnologías artesanales se capturaba el agua proveniente de niebla y brisa.

En Latinoamérica, Chile se ha constituido en pionero del aprovechamiento de la niebla como fuente de abastecimiento mediante el uso de los llamados Atrapanieblas. Estas estructuras capturan la humedad presente en la niebla convirtiéndola en agua que posteriormente se almacena y distribuye para distintos fines.

La utilización de la niebla como recurso hídrico también se ha implementado en países como España (Islas Canarias), Perú, Ecuador, República Dominicana, México, Nepal, Israel, Arabia Saudita, Yemen, Cabo Verde, Namibia, Omán y Sudáfrica.

El alcance de este trabajo es proporcionar los fundamentos teóricos y técnicos que permitan el aprovechamiento de la niebla en el territorio colombiano y sentar las bases, para que en una segunda etapa (posterior a este trabajo), se facilite el montaje y uso de esta tecnología en alguna zona del país.

2. Resumen

El agua de niebla no puede considerarse como una solución de gran escala, pero si puede ser muy efectiva para abastecimiento de poblaciones pequeñas, actividades puntuales como: agricultura de pequeñas parcelas, ganadería, reforestación y como complemento a otras formas de suministro.

El aprovechamiento de la niebla como fuente de suministro de agua se logra mediante los llamados Captadores de Niebla o Atrapanieblas. Estas estructuras logran capturar la humedad existente en la niebla, rocío o brisa convirtiéndola en agua que se puede disponer para diferentes tipos de uso.

Alrededor del mundo se han adelantado proyectos consistentes en la captación de niebla. En Latinoamérica el país pionero en esta tecnología es Chile, con la instalación de Captadores de Niebla en distintas partes del desierto de Atacama usados para consumo humano y agrícola.

Es importante establecer las características físicas y químicas de la niebla, además de los parámetros relacionados con ésta como temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión, velocidad y dirección del viento. También se deben conocer los instrumentos usados para medir éstos parámetros y los métodos para calcular el potencial hídrico de la niebla.

Se deben localizar lugares en la geografía colombiana que cuenten con una buena cantidad de niebla, brisa y rocío que garanticen un suministro aceptable de agua. Para esto se buscará en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) disponibles como Landsat y la NASA las áreas con potencial para captar agua a partir de niebla.

A partir de los datos y la información geográfica, se seleccionará un lugar que cuente con las condiciones indicadas de niebla y humedad relativa para usar la niebla como fuente de suministro. En dicho lugar se deberán tener niveles de humedad y niebla relativamente constantes. Como no se puede asegurar que el 100% del tiempo se tenga esta condición, se

deberá garantizar un flujo de agua continuo mediante estructuras como tanques. Una vez definidos los lugares se conseguirán los registros existentes del Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM) y las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), relacionados con niebla, temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión, velocidad y dirección del viento en el lugar preestablecido.

Los captadores de niebla cuentan con distintas especificaciones según el uso que se le quiera dar y las características ambientales. A continuación se presenta un resumen de los tipos de captadores usados en la actualidad: sistemas convencionales (consistentes en mallas que capturan la humedad), captadores escarabajo (basados en el escarabajo del desierto de Namibia), captadores cilíndricos (son mallas dispuestas de manera cilíndrica), captadores con forma de tienda de campaña, captadores piramidales, captadores con forma de cometas y parques hídricos (consiste en grandes superficies con captadores de niebla)

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Proyectar un sistema que permita la utilización de la niebla y la humedad como fuente de suministro alternativo de agua.

3.2 Objetivos Específicos

- Plantear bases teóricas y prácticas que permitan la captura y aprovechamiento del agua de niebla.
- Ubicar los lugares de Colombia dónde se pueda aplicar esta tecnología.
- Definir los usos que se puede dar a esta alternativa de suministro.
- Definir la infraestructura que permita la obtención del agua de niebla.

4. Metodología

Inicialmente se recopilará y analizará la información disponible sobre experiencias en el uso de niebla como fuente de suministro. En particular, como en Latinoamérica el país pionero en esta tecnología es Chile, se concentrarán los esfuerzos en analizar los Captadores de Niebla instalados en distintas partes del desierto de Atacama, usados para consumo humano y agrícola.

Posteriormente se detallará la teoría y el potencial de producción de la niebla, se definirán las características físicas, químicas y los tipos de niebla existente, además de los parámetros relacionados con ésta como temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión, y velocidad y dirección del viento. Se investigará también sobre los instrumentos usados para medir éstos parámetros y los métodos para calcular el potencial hídrico de la niebla.

Luego se investigará sobre datos de niebla en el territorio nacional, en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) disponibles como Landsat y la NASA y se buscará las áreas con potencial para captar agua a partir de niebla

Con los registros obtenidos, se identificará un lugar en la geografía nacional dónde pueda ser aplicable y se requiera el proyecto propuesto. Teniendo un lugar definido se recopilarán los registros existentes del Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM) y las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), relacionados con niebla, temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión, velocidad y dirección del viento.

A continuación, se describirán los diferentes tipos de estructuras usados para capturar niebla, los materiales y el proceso de instalación y/o construcción.

Se hará un recorrido por los distintos usos que se puede dar al agua proveniente de niebla, tales como agrícola, consumo humano, ganado, reforestación, jardinería.

Es importante resaltar que el alcance de este trabajo es la compilación de conocimientos que permitan, en una etapa posterior, la implementación o instalación de este tipo de estructuras en un lugar específico de la geografía nacional.

5. Marco Teórico

5.1 Definición

La niebla se puede entender como una nube que está en contacto con el suelo, la niebla es una forma visible del vapor de agua en la que no alcanza a presentarse precipitación; está conformada por gotas de agua con diámetros demasiado finos (menores a 0.1 mm) que se forman por la condensación del vapor de agua (Vásquez, Solís, Sibaja, Esquivel, Valdés, 2012) y son tan pequeñas que se mantienen suspendidas en el aire.

La niebla se puede formar por diferentes procesos. La que se forma por el aumento en el contenido de vapor de agua en el aire se conoce como niebla de evaporación y la que se forma por la disminución de la temperatura hasta el punto de rocío se llama niebla por enfriamiento.

La niebla por evaporación se produce cuando se evapora agua en aire frío. Éste cambio de estado ocurre aumentando el contenido de vapor. Por ejemplo cuando una corriente de aire frío y seco fluye o permanece en reposo sobre una superficie de agua de mayor temperatura, se producen nieblas conocidas como nieblas de vapor. Cuando llueve; el agua que se precipita tiene una temperatura mayor que el aire que la rodea, las gotas de lluvia se evaporan y el aire tiende a saturarse, formando nieblas conocidas como frontales.

La niebla por enfriamiento se da por la disminución de la capacidad del aire para retener vapor de agua cuando baja la temperatura. Para que se facilite la condensación del vapor de agua presente en una masa de aire se necesita la presencia núcleos de condensación (polvo u otras partículas) y un descenso en la temperatura, este descenso se da cuando una masa de aire húmedo y cálido entra en contacto con aire más frío.

La cantidad de vapor de agua presente en una masa de aire es dependiente de la temperatura, es decir que a mayor temperatura en la masa de aire se tendrá más contenido de vapor de agua.

La temperatura es el parámetro desencadenante en la formación de la niebla. Cuando las masas de aire caliente se enfrían, al desplazarse por la superficie y entrar en contacto con masas de aire más frío, se produce la condensación y por ende la niebla. Esto se da porque la masa de aire contiene más vapor de agua del que puede contener en la nueva temperatura, a esto se le conoce con el nombre de volumen de saturación de vapor.

5.2 Generalidades

Las pequeñas gotas de agua presentes en la niebla son atrapadas en forma natural por diferente tipo de plantas. Diferentes investigaciones han mostrado que también se puede captar de manera artificial, esto se profundizará en capítulos posteriores.

Una forma de distinguir la niebla de otros fenómenos es que esta reduce la visibilidad horizontal a menos de 1 kilómetro, si se está al nivel de la superficie. Cuando la visibilidad es mayor se considera neblina.

El fenómeno meteorológico de la niebla se da más frecuentemente en montañas, costas e Islas.

5.2.1 Tipos de Niebla

Como se mencionó anteriormente las nieblas se clasifican de acuerdo con los procesos físicos que las forman, se tienen nieblas por evaporación y nieblas por enfriamiento.

Las nieblas por evaporación se clasifican en niebla de vapor y niebla frontal.

5.2.1.1 Nieblas de Vapor

Este tipo de niebla se forma cuando el aire frío se mueve sobre agua cálida y se produce evaporación desde la superficie del agua. El vapor asciende, al mezclarse con el aire frío superior

se satura produciéndose la condensación en forma de vapor. Esta niebla se da generalmente sobre la superficie de los lagos y ríos, cuando el agua está más caliente que el aire.

5.2.1.2 Niebla Frontal

Se da cuando una lluvia que cae sobre aire frío que tiene una temperatura cercana a la de rocío se evapora y produce la niebla, conocida como niebla frontal, son espesas y constantes. La niebla frontal se produce al agregarle humedad al aire frío, dado que la capacidad del aire para mantener el vapor de agua a bajas temperaturas es pequeña, se requiere mucha evaporación adicional para producir la saturación y formación de niebla.

La nieblas por enfriamiento se clasifican en nieblas por radiación, de advección y orográficas.

5.2.1.3 Nieblas de Radiación

Este tipo de nieblas se forman en las noches debido al enfriamiento de las capas de aire que están en contacto con la superficie; el vapor de agua presente en la masa de aire se condensa debido al enfriamiento.

5.2.1.4 Nieblas de Advección

Se presentan cuando una masa de aire húmedo y cálido se desplaza horizontalmente sobre una superficie fría. La niebla se forma en la parte inferior de la masa de aire que se desplaza. La superficie de contacto debe ser mucho más fría que la masa de aire que se desplaza para que la parte inferior se pueda enfriar hasta llegar al punto de rocío, produciendo de esta manera niebla.

5.2.1.5 Nieblas Orográficas

Se producen cuando una masa de aire húmedo y cálido se mueve hacia una montaña; al subir por la pendiente de la montaña, la masa se expande y enfría; Teniendo condiciones de humedad apropiadas se puede llegar al punto de rocío, formándose la niebla.

Vale la pena mencionar otros tipos de condensación diferentes a la niebla pero que también se podrían aprovechar para los fines de este trabajo, estos son el rocío y la escarcha.

5.2.1.6 Rocío

El rocío se da por la condensación del vapor de agua sobre objetos que puedan disminuir la temperatura por debajo del punto de rocío. Los materiales irradian diferentes temperaturas por lo que el rocío se forma en algunas superficies y en otras no.

5.2.1.7 Escarcha

La escarcha se forma cuando el punto de rocío del aire es menor a 0° C. El vapor de agua se transforma directamente en hielo cuando se deposita sobre alguna superficie, normalmente cerca del suelo.

5.3 Medición de Niebla

En este numeral se describen los instrumentos utilizados para la medición del agua captada a partir de nieblas y de los usos para medir los parámetros asociados a la formación de niebla.

5.3.1 Neblinómetros

En la actualidad existe la tecnología que permite medir directamente la cantidad de agua líquida existente en la niebla, esto se logra mediante dispositivos conocidos como neblinómetros.

El neblinómetro más sencillo es elaborado con mallas de Nylon o de Polipropileno. Se podría decir que son captadores de niebla a menor escala, con un área media de malla de 0.25 m^2 .

Poseen un armazón de hierro de 1.0 cm de diámetro apoyado en postes de 2.0 m de altura. El agua atrapada pasa a un canal recolector que conduce el líquido a un dispositivo de almacenamiento donde es posible medir la cantidad de agua generada. Este tipo de neblinómetro mide la niebla o precipitación horizontal de manera unidireccional.

Ilustración 5-1 Neblinómetro Simple de Pantalla



Fuente: (Godínez, 2013), Figura 22

Estos neblinómetros sencillos pueden permanecer largos periodos en campo, son de bajo mantenimiento y se les puede agregar instrumentos que permitan recoger muestras del agua producida por la niebla para posteriores análisis.

Se recomienda que los neblinómetros cuenten con anemómetro y veleta que permitan medir la velocidad del viento y la dirección de este.

Para los cálculos de agua recolectada se debe tener en cuenta el promedio diario recolectado, la época del año, la dirección del viento y la altura del neblinómetro. En la Ilustración 5-1 se pueden ver mallas a diferentes alturas con su respectiva instrumentación individual.

Otro tipo de neblinómetro se conoce con el nombre de Neblinómetro cilíndrico tipo Juvik(IDEAM, 2011); la descripción del Neblinómetro cilíndrico tipo Juvik que se presenta a continuación, fue extraída de las investigaciones realizadas por el doctor Conrado Tobón de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

El neblinómetro cilíndrico Juvik mide la niebla o precipitación horizontal de manera multidireccional. Lo conforman mallas de material de aluminio pintado de color negro formadas por alambres separados 1.42 mm, con dimensiones de 40.6 cm de alto y 12.7 cm de diámetro. Los cilindros se instalan sobre un embudo metálico de 15 cm de diámetro y están conectados a un pluviógrafo y normalmente cuentan con cazoletas de capacidad menor a 15 ml. Los cilindros deben estar cubiertos con un techo que evite la entrada de la precipitación vertical a los colectores, garantizando que se mida exclusivamente las entradas por lluvia transportada por el viento y la niebla. El borde superior del cilindro se ubica generalmente a 2.0 m sobre el nivel de la superficie y por encima se ubica el techo(IDEAM, 2011), ver Ilustración 5-2.

Ilustración 5-2 Neblinómetro Cilindrico Juvik

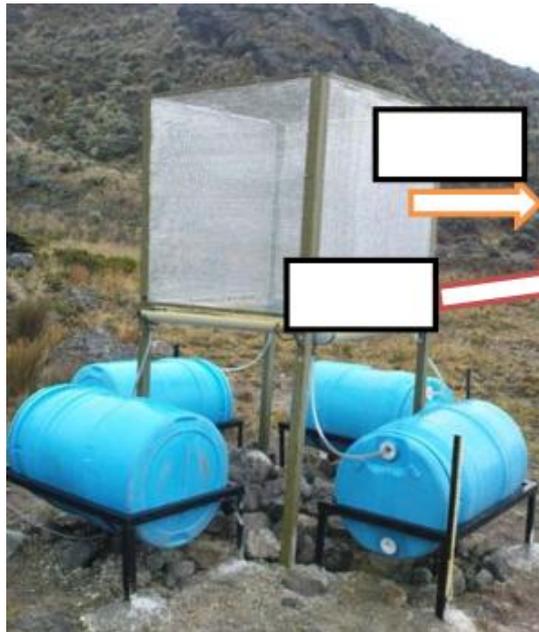


Fuente: (IDEAM, 2011), Fotografía 9

El volumen de agua que entra a los Neblinómetros deberá ser convertido a lámina de agua (mm), de acuerdo con el área de captación de los cilindros (IDEAM, 2011).

Se tiene otro tipo de neblinómetro llamado de cuatro caras. La siguiente descripción fue emitida por el Instituto de Estudios Ambientales – IDEA - de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, este neblinómetro se compone de cuatro mallas de un metro cuadrado cada una (1 m^2) ubicadas sobre una estructura de soporte con cubierta para evitar el ingreso de la lluvia. Una de estas mallas está provista de un pluviómetro con el fin de registrar la variabilidad temporal de la neblina, cada una de las mallas drena el agua recibida hacia un recipiente colector que acumula el agua proveniente de la niebla (IDEAM, 2011):

Ilustración 5-3 Neblinómetro de Cuatro Caras



Fuente: (IDEAM, 2011), Fotografía 36

Los datos que se pueden obtener de los neblinómetros son: dirección predominante y velocidad del viento, dirección predominante de la niebla con mayor potencial hídrico. A partir de esta información y el volumen recolectado de agua se puede determinar el potencial de captura de agua de la niebla en cm^3 por m^2 de malla por día.

Para realizar cualquier estudio de este tipo se deben ubicar varios Neblinómetros a diversas alturas en el sector que se interese estudiar, estableciendo una formación en red. Es muy importante la cota topográfica y la dirección de los neblinómetros respecto al viento predominante.

5.3.2 Medición de parámetros asociados a la niebla

Como se ha mencionado a lo largo de este documento, existen parámetros que son fundamentales en la formación de la niebla; estos son: temperatura, punto de rocío, humedad, velocidad y dirección del viento. Dentro de estos parámetros los más influyentes en la formación de niebla son la velocidad media del viento, la temperatura, el punto de rocío y la humedad

relativa, ya que para temperaturas bajas y humedades relativas mayores a 95% se tiene mayor probabilidad de condensación y formación de la niebla.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales cuenta con una extensa red de estaciones por todo el territorio nacional que permite tener registros de temperatura, punto de rocío y humedad relativa.

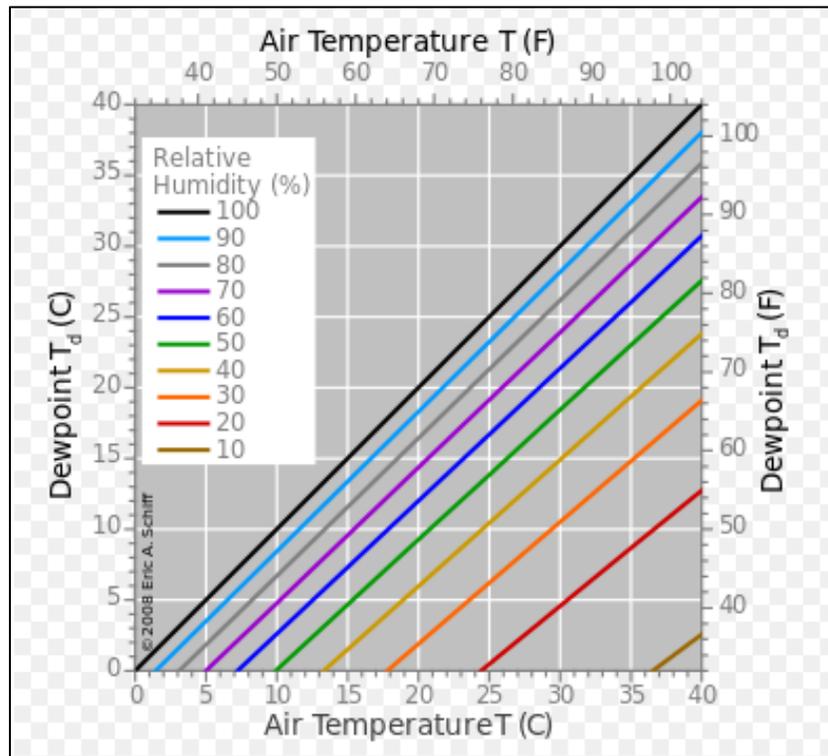
Dentro de las estaciones que miden la variables mencionadas se tienen las Climatológica Ordinaria (CO), Climatológica Principal (CP), Sinóptica Secundaria (SS), Sinóptica Principal (SP) y Agrometeorológica (AM). Las estaciones Meteorológica Especial (ME) permiten medir temperatura y humedad relativa.

Bajo esta perspectiva es necesario recordar algunos conceptos:

Humedad Relativa: es la cantidad de vapor de agua que se tiene respecto a la cantidad necesaria para llegar al punto de saturación, se expresa en porcentaje. Un aire saturado tiene humedad relativa de 100% llegando al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de la humedad relativa con una misma temperatura o por el descenso de la temperatura con la misma humedad relativa.

Punto de Rocío: es la temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor de agua que contiene un masa de aire, generando rocío, niebla, neblina, o incluso escarcha si la temperatura es lo suficientemente baja.

Ilustración 5-4 Tabla que relaciona Temperatura, humedad relativa y punto de rocío



Fuente: (Wikipedia, 2015)

5.4 Estimación de agua líquida a partir de la niebla

Como se ha mencionado anteriormente es posible determinar directamente la cantidad de agua líquida producida por la niebla a partir de la información generada por los neblinómetros. Sin embargo la disponibilidad de estos dispositivos es escasa en la etapa de exploración de los proyectos, por lo cual se requiere la medición de otros parámetros que permitan, mediante el uso de ecuaciones matemáticas, determinar la producción de agua líquida en un lugar que no cuente con neblinómetros.

Para determinar el potencial de producción de agua líquida a partir de la niebla se usará la ecuación de flujo másico que se define como la velocidad a la cual la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada, expresado en unidades de masa por unidad de tiempo (Kg/s):

$$\dot{m} = \rho v A$$

Dónde:

\dot{m} = Flujo Másico (Kg/s)

v = Velocidad media del viento (m/s).

ρ = Densidad del agua en la niebla (Kg/m³) (se debe determinar).

A = Sección transversal (m²).

De acuerdo con la presentación realizada por la Dra Sonia Montecinos, en el seminario realizado en 2013 (Montecinos, 2013), es posible determinar el potencial de producción de agua líquida de la niebla en un lugar determinado recurriendo a la medición de otros parámetros. La densidad del agua en la niebla, de acuerdo con la doctora Montecinos y según estudios realizados (Schemenauer and Joe, 1989). está entre 0.22 g/m³ y 0.73 g/m³. Para una primera aproximación se puede tomar 0.5 g/m³, también se necesita determinar la eficiencia de la recolección (Montecinos, 2013):

Por lo tanto el flujo másico recolectado será:

$$\dot{m} = \rho v A E$$

Dónde:

E = Eficiencia de recolección de la niebla (%).

Para pasar de caudal másico a caudal líquido se definirá un periodo de medición (1 día) y conociendo que un Kg de agua es equivalente a 1 Litro de la misma se podrá obtener el potencial de producción en L/m²-día.

6. Ejemplos de Aplicación

En este capítulo se presentan ejemplos de aplicación de captadores de niebla alrededor del mundo. Para esto se recurre a información disponible de una prestigiosa organización, FogQuest, que permite mostrar la efectividad de la recolección de niebla para el suministro de agua.

FogQuest es una organización canadiense sin ánimo de lucro, que ha adelantado diferentes proyectos que aplican captadores de niebla para satisfacer la demanda de agua de poblaciones rurales en países en vía de desarrollo. FogQuest ha adelantado proyectos para producir agua potable en diferentes países a partir de la recolección de niebla. Los países beneficiados por esta organización han sido Chile, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, Haití, Namibia, Sultanía de Omán, Perú, Yemen. Actualmente se desarrollan proyectos en Guatemala, Etiopía, Chile, Nepal, Eritrea y Marruecos. Tienen pendiente proyectos en Etiopía, Israel y Chile. (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015)

A continuación se presenta un resumen de los diferentes proyectos adelantados por la organización FogQuest, que se encuentran en marcha y han resultado exitosos:

6.1 Guatemala – Tojquia 2006

La organización FogQuest adelantó un proyecto en el Altiplano Occidental Guatemalteco con el objetivo de proporcionar suministro de agua potable a pequeñas aldeas rurales. El proyecto se enfocó en la aldea llamada Tojquia, que se encuentra en la región de nombre los Cuchumatanes, a una altura de 3.300 msnm. El proyecto de agua de niebla en Tojquia es parte de una iniciativa más amplia en el altiplano occidental (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Ilustración 6-1 Captadores de Niebla Tojquia Guatemala



Fuente: (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015)

Según la información más reciente se tienen instalados treinta (30) colectores de niebla grandes (en inglés LFC - Large Fog Collectors). La comunidad se ha concientizado en el uso y aprovechamiento de esta tecnología y están comprando y trasladando materiales para para construir más LFCs, y haciendo mantenimiento de los LFCs existentes. Los captadores de niebla han demostrado ser una tecnología eficaz para proporcionar agua limpia a las familias. La producción de agua de niebla diaria total actual se estima en alrededor de 6.000 litros (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

6.2 Chile – El Tofo / Chungungo 1987 – 2002

Este proyecto surgió como resultado de una propuesta de tres instituciones chilenas y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC) de Canadá en 1985. Adicionalmente la propuesta fue evaluada por el Dr. Robert Schemenauer quien ha trabajado en distintos proyectos de química de niebla y deposición de niebla para Canadá. Así nació un proyecto de prueba de tecnología de captación de niebla e investigación científica y técnica en Chile a partir del año 1987 (El Proyecto Camanchaca), que sirvió como fuente de agua, a partir de niebla, para el pueblo de Chungungo que comenzó en 1992. La obra fue una colaboración entre el IDRC, Environment Canada, la Universidad de Chile (Humberto Fuenzalida), la Pontificia Universidad Católica de Chile (Pilar Cereceda), y la Corporación Nacional Forestal (CONAF) en la IV Región (Guido Soto) (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

En el cerro El Tofo se hicieron estudios de factibilidad de producción de agua a partir de niebla, mediante la instalación de neblinómetros.

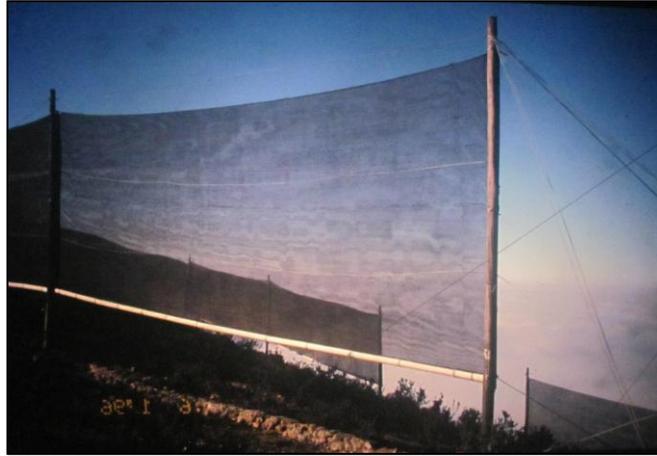
Ilustración 6-2 Neblinómetros El Tofo - Chungungo



Fuente: (CONAF, 2013).

Los buenos resultados de dichos estudios dieron confianza para poder suministrar agua a una pequeña comunidad ubicada en la zona baja del cerro El Tofo, llamada Chungungo, con una población a la época de 350 habitantes aproximadamente, dicha población no contaba con agua potable, sus fuentes de suministro eran un pozo ubicado a 30 Km y un camión cisterna que pasaba cada 8 días. Gracias a fondos del Gobierno Regional (FNDR), CIID y la colaboración de la empresa de servicios sanitarios ESSCO, se construyó, en 1991, el primer proyecto a nivel mundial de abastecimiento de agua potable proveniente de niebla. (CONAF, 2013):

Ilustración 6-3 Captadores de Niebla El Tofo - Chungungo



Fuente: (CONAF, 2013).

La infraestructura construida para el abastecimiento consistió en 3600 m² de captadores de nieblas, un tanque de almacenamiento de 100 m³, se instalaron 16 cámaras de quiebre, una tubería de conducción de 6 Km de largo, se instaló en cada casa un medidor de agua (CONAF, 2013).

Ilustración 6-4 Sistema Abastecimiento El Tofo - Chungungo



Fuente: (CONAF, 2013).

Con el sistema en funcionamiento se pudo establecer que la malla de polipropileno fue la más eficiente para la captación de agua a partir de niebla. El costo del agua fue siete (7) veces más

barato que el sistema de camiones cisterna, el promedio de agua producido fue de 4 l/m² al día, se logró establecer que la mayor captación se alcanza con vientos con velocidades mayores a 4 m/s. El sistema de El Tofo producía 14400 litros diarios de agua, con un promedio de 41 litros por persona al día y funcionó bien durante 5 años (CONAF, 2013).

Con este proyecto se lograron identificar debilidades operativas que pueden acarrear este tipo de sistemas, y que brindan valiosas lecciones para proyectos futuros. A continuación se presenta un resumen de estas; insuficiente trabajo de motivación y empoderamiento del proyecto en la gente de la comunidad, escaso o nulo compromiso de las autoridades locales e instituciones relacionadas al proyecto, los captadores de niebla se deterioraron hasta su total desaparición debido a la indiferencia de la comunidad con su mantenimiento y reparación, los fuertes vientos son una gran amenaza para la mantención de los captadores por lo tanto es necesaria la presencia permanente de operarios en las zonas para mantenimiento (CONAF, 2013).

6.3 Chile – Padre Hurtado 1999-2004

Este proyecto constaba de 8 grandes colectores de niebla ubicados en el Cerro Talinay, localizado en el centro de Chile, funcionó por un período de cinco años. Los colectores proporcionaban, aproximadamente, 1500 litros de agua al día, el agua era conducida a través de una tubería de 3,5 Km hasta el Santuario del Padre Hurtado, ubicado en la Carretera Panamericana. . El agua de los colectores llegaba hasta un tanque de 35 m³ localizado en cercanías del Santuario. El líquido obtenido se usaba para la casa del vigilante del santuario, los jardines, y para los cuartos de baño de los miles de visitantes que llegan cada mes al santuario. Los colectores de niebla suplieron siempre con gran éxito las necesidades diarias de agua para el Santuario. El Santuario se encuentra en una de las zonas rurales más pobres de Chile, la precipitación media anual es de sólo 100 mm y el terreno es extremadamente seco, esto limita seriamente las posibilidades de la agricultura y la cría de animales. (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Ilustración 6-5 Sistema Abastecimiento Padre Hurtado



Fuente: (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015)

Debido a la eliminación gradual de las actividades del Santuario del Padre Hurtado se empezó a perder visitantes y personal de mantenimiento y operación, lo que llevó a la degradación del sistema de abastecimiento (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

6.4 Peru – Collanac 1993-1994

En 1993 se recogieron fondos para desarrollar un proyecto agrícola y forestal cerca de una comunidad llamada Collanac en el Perú. Según información de FogQuest la precipitación anual en este lugar es de unos 5 mm, lo que muestra que la comunidad se localiza en uno de los desiertos más secos del mundo. Se instalaron grandes colectores de niebla (LFC) a una alturas comprendidas entre 450 y 800 msnm, en la Zona de Manchay, en el período comprendido entre julio de 1993 y abril de 1994. Con este proyecto se lograron tasas de recuperación entre 2 a 5 L/m² - d, los valores aumentaban en las zonas altas. El agua que se obtenía con las LFC se utilizó para cultivar cactus en la comunidad, de esta planta se podía recoger una fruta llamada atún, que se disponía para la venta. También se produjeron grandes cantidades de un árbol nativo llamado (tintorea Caesalpinia) Tara, usado para siembra en las laderas alrededor de la comunidad. La importancia de este proyecto consistió en que los datos recogidos demostraron las cantidades de agua de niebla que se pueden recoger y usar en el árido desierto cercano a Lima Perú (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

6.5 Peru – Mejía 1995 – 1999

Gracias a la unión de unidades de investigación de cinco universidades de Arequipa Perú, Florencia y Padua Italia, Santiago de Chile, con el apoyo del Dr. Robert Schemenauer de, y después de cinco (5) años de trabajo, se logró verificar la posibilidad de rehabilitar un ecosistema a través de la reforestación con agua obtenida a partir de niebla. Las actividades de investigación del proyecto iniciaron con una campaña de medición de la capacidad de producción de la niebla en diferentes lugares de la zona de estudio. Se escogió un lugar conocido como Las Cuchillas, se instalaron veinte (20) grandes colectores de niebla, tres (3) tanques de almacenamiento, y se implementó un sistema de riego por goteo, además de una parcela experimental. Se controló el crecimiento y supervivencia de los árboles plantados. Adicionalmente se llevaron a cabo otros experimentos paralelos: identificación de los diferentes tipos de vegetación del lugar, medición de la niebla en los árboles plantados, estudio hidrológico y ensayos de túnel de viento en los tipos de mallas usados en los captadores (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Como resultado de este proyecto de investigación se tiene que: el área de Mejía mostró, en los tres años y medio de estudio, que tiene un muy buen potencial para la recolección de agua de niebla; la niebla es un recurso de agua que se puede utilizar con fines ecológicos para esta zona, los árboles y arbustos de la zona pueden sobrevivir sólo con el aporte de agua recolectada de la niebla; la reforestación con uso de riego puede ser detenida después de dos años; en este punto los árboles habían crecido lo suficiente para capturar niebla suficiente para su supervivencia; se obtuvo una tasa de riego de 1 litro por día por árbol (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Nota de FogQuest: *Lo anterior es una versión editada del resumen del proyecto: "La niebla como un nuevo recurso agua para el desarrollo sostenible del ecosistema del desierto costero peruano y chileno", XII Europea Dirección General de la Comunidad, Contrato N° TS3 CT94 0324, Informe final 1995 -1999.]Papeles en discusiones sobre los resultados del proyecto a Mejía se pueden encontrar en el volumen de actas de la Primera Conferencia Internacional de Niebla y Colección de Niebla, 1998, Vancouver, Canadá.*

Ilustración 6-6 Sistema Captadores de Niebla Mejía Perú



Fuente: (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015)

6.6 Yemen – Hajja/Mabijan 2003-2005

Este proyecto arrancó en enero del año 2003, se instalaron 26 neblinómetros y un colector grande de niebla en la localidad de Hajja. El agua proveniente de los captadores de niebla se almacena en cisternas comunitarias tradicionales del lugar que tienen cientos de años de antigüedad. La evaluación se realizó entre el 1 enero al 31 marzo de 2003. Estos meses se caracterizan por ser los más secos cuando la lluvia es prácticamente inexistente y la necesidad de agua es muy alta. Se obtuvo agua de niebla suficiente para justificar un proyecto grande. Los mejores sitios promediaron 4.5 L/m^2 – día, durante este período seco. Se puede deducir que un Colector grande de niebla podría producir alrededor de 180 litros por día, que es una cantidad suficiente para mantener a una familia de nueve personas (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Al igual que en otros proyectos se ha cumplido con la función de entregar a las comunidades el vital líquido. Lastimosamente, la falta de mantenimiento de los captadores de niebla ha ocasionado que el sistema presente fallas en el funcionamiento. Sin embargo vale la pena rescatar que los datos recogidos son importantes en la demostración de las grandes cantidades de agua de niebla que se pueden recoger en el desierto de montaña, en la costa oeste de Yemen, en la Península Arábiga. Una vez más el factor crítico en este proyecto fue la falta de compromiso de las comunidades para trabajar en el mantenimiento de los LFC (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

6.7 Chile – Padre Hurtado 1999-2004

Este proyecto constaba de 8 grandes colectores de niebla ubicados en el Cerro Talinay, localizado en el centro de Chile, funcionó por un período de cinco años. Los colectores proporcionaban, aproximadamente, 1500 litros de agua al día, el agua era conducida a través de una tubería de 3,5 Km hasta el Santuario del Padre Hurtado, ubicado en la Carretera Panamericana. El agua de los colectores llegaba hasta un tanque de 35 m³ localizado en cercanías del Santuario. El líquido obtenido se usaba para la casa del vigilante, los jardines, y los cuartos de baño de los miles de visitantes que llegan cada mes al Santuario. Los colectores de niebla suplieron siempre con gran éxito las necesidades diarias de agua para el Santuario. El Santuario se encuentra en una de las zonas rurales más pobres de Chile, la precipitación media anual es de sólo 100 mm y el terreno es extremadamente seco, esto limita seriamente las posibilidades de la agricultura y la cría de animales (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Ilustración 6-7 Sistema Abastecimiento Padre Hurtado



Fuente: (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015) http://www.fogquest.org/images/PadreHurtado_smaller.jpg

Debido a la eliminación gradual de las actividades del Santuario del Padre Hurtado se empezaron a perder visitantes y fue necesario reducir el personal de mantenimiento y operación,

lo que llevó a la degradación del sistema de abastecimiento (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

6.8 Perú – Collanac 1993-1994

En 1993 se recogieron fondos para desarrollar un proyecto agrícola y forestal cerca de una comunidad llamada Collanac en el Perú. Según información de FogQuest la precipitación anual en este lugar es de unos 5 mm, lo que muestra que la comunidad se localiza en uno de los desiertos más secos del mundo. Se instalaron grandes colectores de niebla (LFC) a una alturas comprendidas entre 450 y 800 msnm, en la Zona de Manchay, en el período comprendido entre julio de 1993 y abril de 1994. Con este proyecto se lograron tasas de recuperación entre 2 a 5 L/m² - d, los valores aumentaban en las zonas altas. El agua que se obtenía con las LFC se utilizó para cultivar cactus en la comunidad, de la que se podía recoger una fruta llamada atún, que se disponía para la venta. También se produjeron grandes cantidades de un árbol nativo llamado (tintorea Caesalpinia) Tara, usado para siembra en las laderas alrededor de la comunidad. La importancia de este proyecto consistió en que los datos recogidos demostraron las cantidades de agua de niebla que se pueden recoger y usar en el árido desierto cercano a Lima Perú (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

6.9 Perú – Mejía 1995 – 1999

Gracias a la unión de unidades de investigación de cinco universidades de Arequipa Perú, Florencia y Padua Italia, Santiago de Chile, con el apoyo del Dr. Robert Schemenauer del Instituto del Medio Ambiente de Canadá, y después de cinco (5) años de trabajo, se logró verificar la posibilidad de rehabilitar un ecosistema a través de la reforestación con agua obtenida a partir de niebla. Las actividades de investigación del proyecto iniciaron con una campaña de medición de la capacidad de producción de la niebla en diferentes lugares de la zona de estudio. Se escogió un lugar conocido como Las Cuchillas, se instalaron veinte (20) grandes colectores de niebla, tres (3) tanques de almacenamiento, y se implementó un sistema de riego por goteo, además de una parcela experimental. Se controló el crecimiento y supervivencia de los árboles plantados. Adicionalmente se llevaron a cabo otros experimentos paralelos: identificación de los

diferentes tipos de vegetación del lugar, medición de la niebla en los árboles plantados, estudio hidrológico y ensayos de túnel de viento en los tipos de mallas usados en los captadores (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Como resultado de este proyecto de investigación se encontró que: el área de Mejía, en los tres años y medio de estudio, tiene un muy buen potencial para la recolección de agua de niebla; la niebla se puede utilizar con fines ecológicos para esta zona; los árboles y arbustos de la zona pueden sobrevivir sólo con el aporte de agua recolectada de la niebla; la reforestación con uso de riego pudo ser detenida después de dos años, pues en éste tiempo los árboles habían crecido lo suficiente para capturar bastante niebla y garantizar su supervivencia; se obtuvo una tasa de riego de 1 litro por día por árbol (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Nota de FogQuest: *Lo anterior es una versión editada del resumen del proyecto: "La niebla como un nuevo recurso agua para el desarrollo sostenible del ecosistema del desierto costero peruano y chileno", XII Europea Dirección General de la Comunidad, Contrato N° TS3 CT94 0324, Informe final 1995 -1999.]Papeles en discusiones sobre los resultados del proyecto a Mejía se pueden encontrar en el volumen de actas de la Primera Conferencia Internacional de Niebla y Colección de Niebla, 1998, Vancouver, Canadá.*

Ilustración 6-8 Sistema Captadores de Niebla Mejía Perú



Fuente: (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015)

6.10 Yemen – Hajja/Mabijan 2003-2005

Este proyecto arrancó en enero del año 2003. Se instalaron 26 neblinómetros y un colector grande de niebla en la localidad de Hajja. El agua proveniente de los captadores de niebla se almacena en cisternas comunitarias tradicionales del lugar que tienen cientos de años de antigüedad. La evaluación se realizó entre el 1 enero al 31 marzo de 2003. Estos meses se caracterizan por ser los más secos, la lluvia es prácticamente inexistente y la necesidad de agua es muy alta. Se obtuvo agua de niebla suficiente para justificar un proyecto grande. Los mejores sitios promediaron 4.5 L/m^2 – día, durante este período seco. Se puede deducir que un Colector grande de niebla podría producir alrededor de 180 litros por día, que es una cantidad suficiente para mantener a una familia de nueve personas (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

Al igual que en otros proyectos se ha cumplido con la función de entregar a las comunidades el vital líquido. Lastimosamente, la falta de mantenimiento de los captadores de niebla ha ocasionado que el sistema presente fallas en el funcionamiento. Sin embargo, vale la pena rescatar que los datos recogidos son importantes para mostrar las grandes cantidades de agua de niebla que se pueden recoger en el desierto de montaña, en la costa oeste de Yemen, en la Península Arábiga. Una vez más el factor crítico en este proyecto fue la falta de compromiso de las comunidades para trabajar en el mantenimiento de los LFC (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

7. Localización de Áreas con Potencial de Niebla

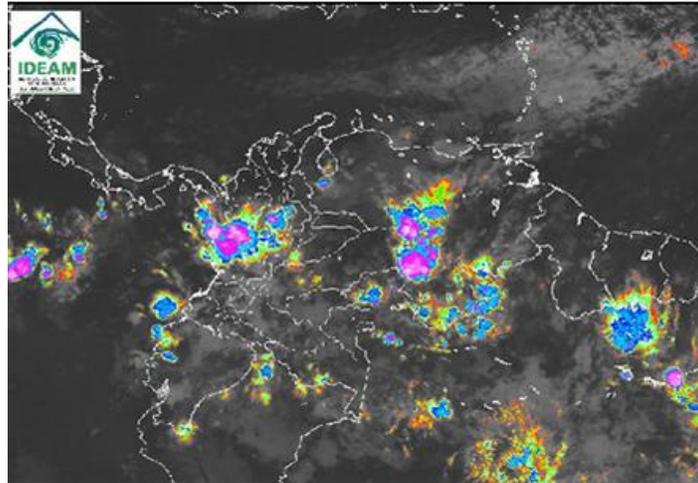
Uno de los objetivos del presente trabajo es identificar las regiones de la geografía colombiana con potencial hídrico de niebla, en los cuales sea factible la instalación de neblinómetros y posteriormente captadores de niebla.

Gracias a la innovación tecnológica de los sensores remotos, a través de satélites, es posible obtener información primaria de las características climatológicas y geográficas de un lugar sin la necesidad de hacer visitas de campo. El grupo de satélites que más precisión dan en la medición de nubosidad son los geoestacionarios, ya que al estar quietos en un punto respecto al planeta proporcionan una visión muy aproximada del movimiento de las nubes sobre un área determinada.

El sistema GOES (Geostationary Operational Environmental Satélite), perteneciente a la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration - U.S.A.), orbita en el eje ecuatorial de la tierra. Estos satélites cuentan con radiómetros de exploración giratoria que funcionan en el espectro visible (0.4-0.8 μm), el infrarrojo térmico (9.7-13.0 μm) y el infrarrojo vapor de agua (5.7-7.1 μm) (SIAC, 2015).

La forma de identificar el tipo de nubes captado por el satélite GOES es a través de imágenes en infrarrojo; las imágenes muestran la radiación infrarroja emitida por las nubes o la superficie de la tierra (son medidas de temperatura). En las imágenes en infrarrojo, los objetos que tienen mayor temperatura son más oscuros que los fríos. Las áreas sin nubes aparecen oscuras. Sin embargo, las nubes muy bajas y la niebla pueden ser oscuras o grises y las demás nubes están en tonalidades claras (las nubes de mayor altura parecen más claras que las bajas). Con las imágenes provenientes desde los satélites GOES es factible identificar las zonas con nubes bajas, medias y altas, ver Ilustración 7-1.

Ilustración 7-1 Imagen Satelital de Colombia Tipo Infrarrojo



Tomado de: (SIAC, 2015)

Cada color en la imagen infrarroja representa un rango de temperatura que está relacionado con una altura determinada del tope de las nubes. Al observar los diferentes colores y los contornos de las áreas coloreadas, se puede deducir el tipo de nubes y su extensión vertical y horizontal. Por lo tanto las áreas blancas indican la presencia de nubes más altas. Es importante saber que en la atmósfera la temperatura disminuye con el aumento de la altura (SIAC, 2015).

En la siguiente tabla se presentan los colores utilizados y su significado:

Tabla 7-1 Código de Colores para Imágenes Satelitales

| Colores | Significado |
|--------------------|---|
| Negro | Ausencia de nubosidad |
| Grisés | Ligeramente nublado o nubes bajas |
| Lila claro | Cimas de nubes con temperaturas entre -10 °C y -20 °C |
| Lila oscuro | Cimas de nubes entre -21 °C y -31 °C |
| Verde claro | Cimas de nubes entre -32 °C y -42 °C |
| Verde | Cimas de nubes entre -43 °C y -53 °C |

| Colores | Significado |
|---------------------|--|
| medio | |
| Verde oscuro | Cimas de nubes entre -54 °C y -59 °C (tormentas) |
| Amarillo | Cimas de nubes entre -60 °C y -63 °C |
| Azul | Cimas de nubes entre -64 °C y -80 °C (topes sobresalientes) |
| Blanco | Cimas de nubes entre -81 °C y -110 °C (topes sobresalientes) |

Tomado de: (SIAC, 2015)

De acuerdo con la tabla anterior, las nubes más frías y de mayor altitud corresponden al blanco y las más calientes y de menor altitud varían entre el lila claro y el gris. Para el interés de este trabajo las zonas grises claras corresponden a nubes muy bajas, en algunos casos a niebla.

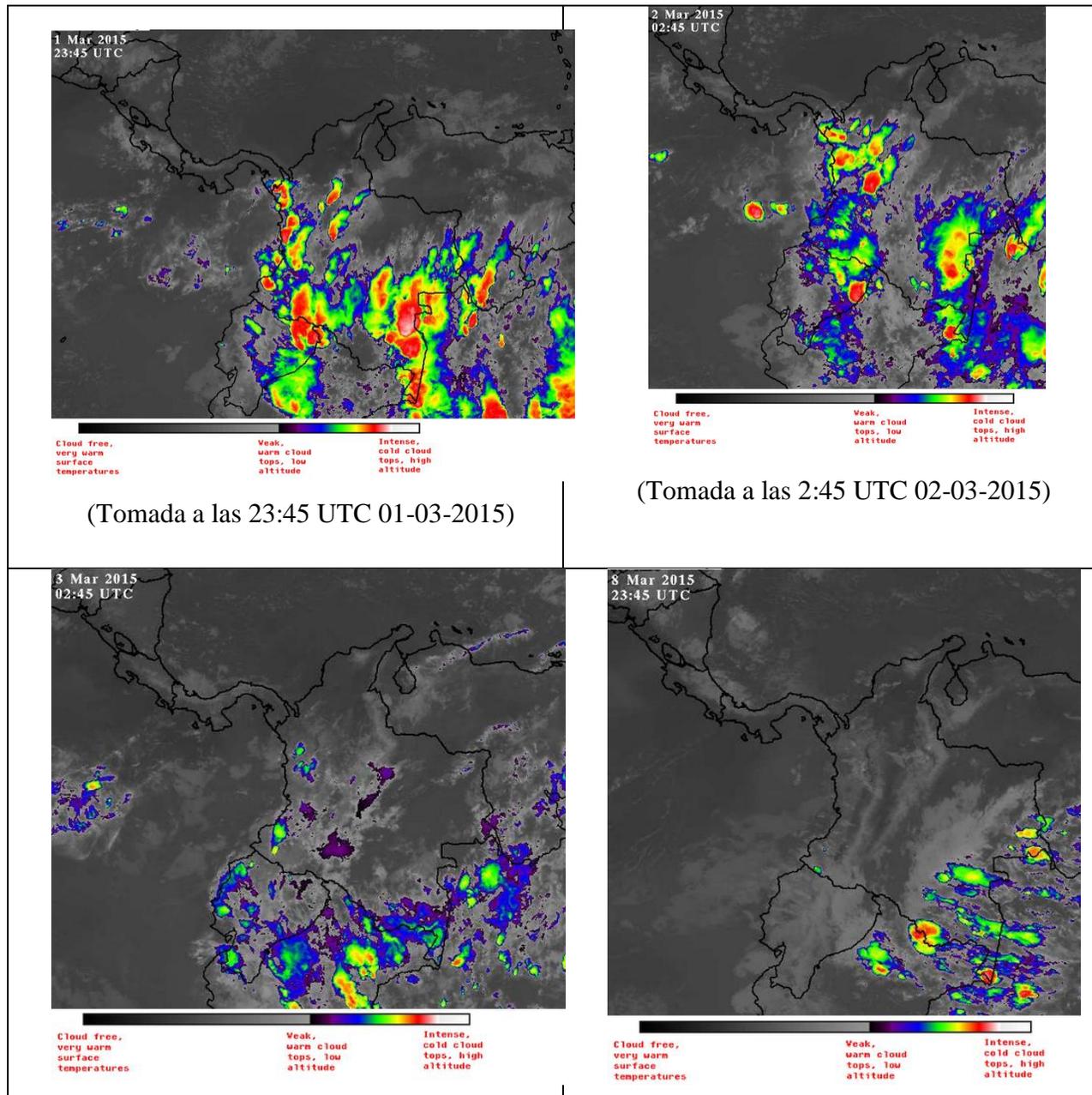
La hora en que se capta la imagen por el satélite corresponde al meridiano de Greenwich (GMT), un estándar internacional. Equivale a 5 horas más que la hora oficial colombiana. Por ejemplo: 14:15 GMT equivale a las 9:15, hora local en Colombia (SIAC, 2015).

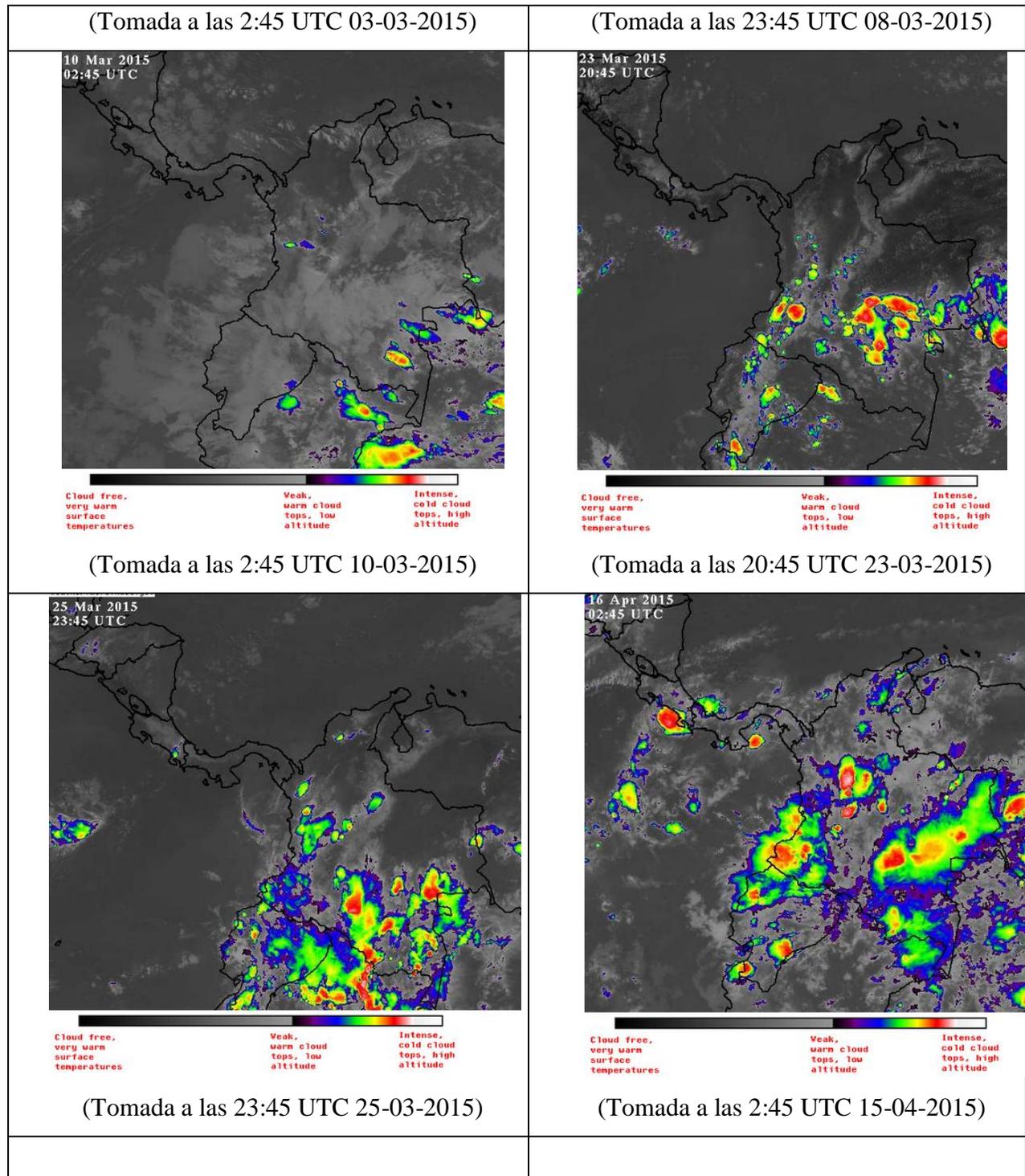
Una de las ventajas de las imágenes en infrarrojo es que se pueden tomar durante las 24 horas ya que no necesitan luz solar para obtenerse, a diferencia de las imágenes en espectro visible y vapor de agua, logrando un completo seguimiento de las nubes bajas a lo largo del día.

En la siguiente serie de ilustraciones, tomadas entre los días 1 de marzo y 15 de abril del año 2015 se presentan las áreas nubosas sobre la geografía nacional colombiana, las áreas blancas son nubes altas y frías, adicionalmente se aprecian áreas grises, amarillas, verdes, lilas y rojas, ver Tabla 7-1. Las áreas de color vino tinto y rojo (con borde verde) indican áreas de lluvias y tormentas.

Es importante mencionar que los colores de las imágenes en infrarrojo son: el azul que corresponde al rango de -32°C de temperatura (es decir una altura de 7 a 8 Km), amarillo oscuro o cian = -40°C (9 Km), el verde = -52°C (11 km), el rojo = -60°C (13 km), y el vino tinto = -70 a -80°C (Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, 2015).

Tabla 7-2 Imágenes Satelitales GOES para Colombia





Fuente: (weather.msfc.nasa.gov, 2015)

De acuerdo con el análisis de las imágenes, las zonas del país con mayor presencia de nubes bajas y por ende mayor potencial hídrico a partir de niebla es la zona andina, es decir que los

municipios asentados en las tres cordilleras son potenciales candidatos para aplicar la tecnología de los captadores de nieblas. En estas zonas se tiene una presencia continua de nubes bajas, por lo cual un estudio más detallado podría enfocarse en estos lugares para adelantar la implementación de neblinómetros y posteriormente la instalación de captadores de niebla que puedan atender algunas necesidades de poblaciones con poco acceso al recurso hídrico.

Más adelante en el capítulo 8, se definirá una población en la que se podría aplicar la tecnología de los captadores de niebla. En este numeral se definirá con mayor precisión posibles lugares dónde se instalarían las estructuras de captación.

8. Elección de Lugar Para Posible Aplicación

Como se mencionó en el numeral 7, se tiene alta presencia de nubes bajas y nieblas en las tres cordilleras existentes en el territorio nacional. Según imágenes GOES registradas, los municipios asentados en estas zonas podrían ser candidatos para aplicar la tecnología de los captadores de nieblas en sus territorios.

Uno de los departamentos que más ha sido afectado por las sequías presentadas en años anteriores, en el territorio nacional, ha sido Cundinamarca, hecho incrementado por la aparición del Fenómeno del Niño. Dentro del departamento los municipios que mayor problemática han presentado son Villeta, Útica, La Mesa, Guaduas, Pulí, Quebradanegra, Apulo, San Juan de Río Seco y Jerusalén.

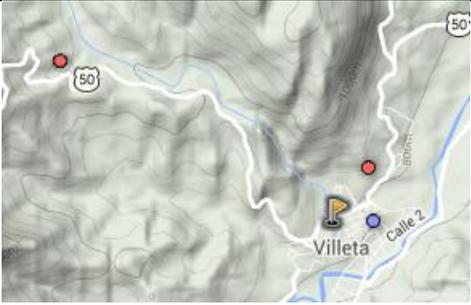
Se analizó la información hidroclimatológica disponible en estos municipios, especialmente la información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), para verificar el tipo de estaciones y el periodo de años de los datos, de esta manera se escogerá el municipio con mayor y mejor calidad en la información.

Ante la imposibilidad de contar con medición directa de caudal generado a partir de niebla en los sitios mencionados, se debe recurrir a la medición de parámetros asociados al fenómeno de la niebla presentados en el numeral 5.3.2: velocidad media del viento, temperatura, punto de rocío y humedad relativa, ya que para temperaturas bajas y humedades relativas mayores a 95% se tiene mayor probabilidad de condensación y formación de la niebla.

Estos parámetros son medidos en estaciones de categoría Climatológica Ordinaria (CO), Climatológica Principal (CP), Sinóptica Secundaria (SS), Sinóptica Principal (SP), Agrometeorológica (AM) y Meteorológica Especial (ME). Se debe contar con un periodo de registros mayor a 20 años para que las muestras de datos sean representativos y tengan un nivel de confiabilidad alto.

Para los municipios mencionados anteriormente, afectados por sequías en Cundinamarca, se revisó la información meteorológica disponible en el IDEAM y la CAR, para verificar cual cuenta con mejor calidad de información.

Villeta (Cundinamarca):

| Información IDEAM | Información CAR |
|---|--|
|  <p>Fuente: (IDEAM, 2015).</p> <p>Cuenta con dos estaciones meteorológicas y una hidrológica.</p> <p>Meteorológicas: Código: 23065180 Nombre: Villeta Automática Categoría: Climatológica Principal Estado: Activa: Fecha Instalación: 12/10/2004 Periodo de Información muy corto.</p> <p>Código: 23065200 Nombre: El Trapiche Categoría: Climatológica Ordinaria</p> |  <p>Fuente: (CAR, 2015).</p> <p>Cuenta con tres estaciones hidrológicas.</p> <p>No suministran la información requerida.</p> |

Estado: Activa:

Fecha Instalación: 5/13/2009

Periodo de Información muy corto.

Útica (Cundinamarca):

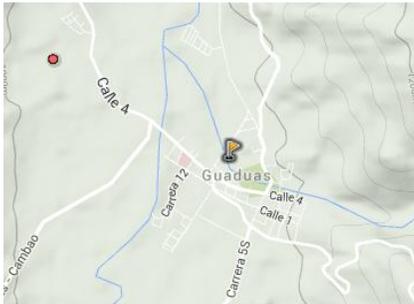
| Información IDEAM | Información CAR |
|--|--|
|  <p>Fuente: (IDEAM, 2015).</p> <p>Cuenta con una estación meteorológica.</p> <p>Código: 23060190</p> <p>Nombre: Útica</p> <p>Categoría: Pluviométrica</p> <p>Estado: Activa:</p> <p>Fecha Instalación: 9/15/1974</p> <p>No cumple con los requisitos.</p> |  <p>Fuente: (CAR, 2015).</p> <p>No suministran la información requerida.</p> |

La Mesa (Cundinamarca):

| Información IDEAM | Información CAR |
|--|--|
|  <p>Fuente: (IDEAM, 2015).</p> <p>Cuenta con una estación meteorológica.</p> <p>Código: 21206710</p> <p>Nombre: San Joaquín Automática</p> <p>Categoría: Climatológica Principal</p> <p>Estado: Activa</p> <p>Fecha Instalación: 6/1/2005</p> <p>Periodo de Información muy corto.</p> |  <p>Fuente: (CAR, 2015).</p> <p>Cuenta con una estación climatológica y una hidrológica.</p> <p>Climatológica:</p> <p>Código: 2120639</p> <p>Nombre: La Mesa</p> <p>Categoría: Climatológica Principal</p> <p>Estado: Activa:</p> <p>Fecha Instalación: 9/1/1985</p> <p>Cumple con los requerimientos.</p> |

Guaduas (Cundinamarca):

| Información IDEAM | Información CAR |
|-------------------|-----------------|
|-------------------|-----------------|



Fuente: (IDEAM, 2015).

Cuenta con una estación meteorológica.

Código: 23060140

Nombre: El Tuscolo

Categoría: Pluviométrica

Estado: Activa

Fecha Instalación: 2/15/1971

No cumple con los requerimientos.



Fuente: (CAR, 2015).

Cuenta con una estación climatológica y dos hidrológica.

Climatológica:

Código: 2306517

Nombre: Guaduas

Categoría: Climatológica Principal

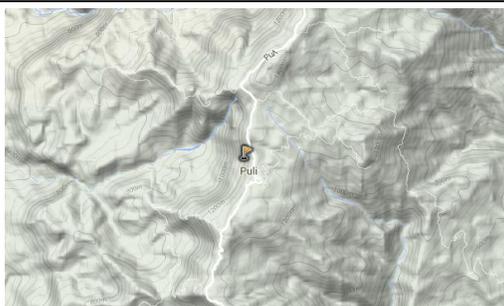
Estado: Activa:

Fecha Instalación: 12/1/1999

Periodo de Información muy corto.

Pulí (Cundinamarca):

Información IDEAM



Información CAR



| | |
|--|---|
| <p>Fuente: (IDEAM, 2015).</p> <p>No cuenta con estaciones cercanas.</p> | <p>Fuente: (CAR, 2015).</p> <p>Cuenta con una estación climatológica y una hidrológica.</p> <p>Climatológica:</p> <p>Código: 2123502</p> <p>Nombre: El Placer</p> <p>Categoría: Climatológica Principal</p> <p>Estado: Activa:</p> <p>Fecha Instalación: 12/1/1999</p> <p>Periodo de Información muy corto.</p> |
|--|---|

Quebradanegra (Cundinamarca):

| Información IDEAM | Información CAR |
|---|--|
|  <p>Fuente: (IDEAM, 2015).</p> <p>Cuenta con una estación meteorológica y una hidrológica</p> <p>Meteorológica:</p> |  <p>Fuente: (CAR, 2015).</p> <p>Cuenta con una estación climatológica y dos hidrológicas.</p> <p>Climatológica:</p> |

| | |
|---|---|
| <p>Código: 23065190</p> <p>Nombre: Quebrada Negra Automática</p> <p>Categoría: Climatológica Principal</p> <p>Estado: Activa:</p> <p>Fecha Instalación: 10/6/2005</p> <p>Periodo de Información muy corto.</p> | <p>Nombre: Agua Fría</p> <p>No registra datos de humedad relativa ni velocidad del viento.</p> |
|---|---|

Apulo (Cundinamarca):

| Información IDEAM | Información CAR |
|---|---|
|  <p>Fuente: (IDEAM, 2015).</p> <p>No cuenta con estaciones cercanas</p> |  <p>Fuente: (CAR, 2015).</p> <p>Cuenta con una estación climatológica y tres hidrológicas</p> <p>Climatológica:</p> <p>Nombre: Granja Bosconia</p> <p>No registra datos de humedad relativa ni velocidad del viento.</p> |

San Juan de Río Seco (Cundinamarca):

| Información IDEAM | Información CAR |
|-------------------|-----------------|
|-------------------|-----------------|



Fuente: (IDEAM, 2015).

Cuenta con una estación meteorológica

Meteorológica:

Código: 21230070

Nombre: San Juan de Río seco

Categoría: Pluviométrica

Estado: Activa:

Fecha Instalación: 12/15/1974

No cumple con los requerimientos.



Fuente: (CAR, 2015).

No cuenta con estaciones cercanas.

Jerusalén (Cundinamarca):

Información IDEAM



Fuente: (IDEAM, 2015).

Información CAR



Fuente: (CAR, 2015).

| | |
|---|--|
| <p>Cuenta con una estación meteorológica</p> <p>Meteorológica:</p> <p>Código: 21235010</p> <p>Nombre: Jerusalén</p> <p>Categoría: Climatológica Ordinaria</p> <p>Estado: Activa:</p> <p>Fecha Instalación: 11/15/1974</p> <p>Cumple con los requerimientos.</p> | <p>No cuenta con estaciones cercanas.</p> |
|---|--|

Según la información consultada el municipio que más información posee de parámetros relacionados con la niebla, como humedad relativa y temperatura es Jerusalén, que cuenta con un periodo de registros de 41 años por parte del IDEAM. Bajo este escenario se escoge este municipio para los fines pertinentes de este trabajo, gracias a la cantidad y calidad de la información existente.

La estación localizada en el municipio de Jerusalén es del tipo Climatológica Ordinaria, por esto no cuenta con medición de velocidad del viento, este parámetro es usado para determinar el potencial de producción de agua a partir de niebla (ver numeral 5.4). Dada la ausencia de esta información en la estación escogida se tomarán los registros de la estación Climatológica Principal más cercana (2120639 propiedad de la CAR), ubicada en el municipio de La Mesa, la cual cuenta con un rango de mediciones desde el año 2005 para el parámetro de viento.

8.1 Estimación Potencial de Producción de Agua

Aplicando la metodología descrita en el numeral 5.4 se estimará el potencial de producción de agua líquida a partir de niebla en el municipio de Jerusalén Cundinamarca.

Usando las siguientes ecuaciones:

$$\dot{m} = \rho v A$$

Dónde:

\dot{m} = Flujo Másico (Kg/s)

v = Velocidad media del viento (m/s).

ρ = Densidad del agua en la niebla (Kg/m³) (se debe estimar).

A = Sección transversal (m²) (para este caso se toma una superficie de 1 m²).

De acuerdo con la presentación realizada por la Dra Sonia Montecinos, en el seminario realizado en 2013 (Montecinos, 2013), es posible determinar el potencial de producción de agua líquida de la niebla en un lugar determinado, sin tener un neblinómetro y recurriendo a la medición de otros parámetros. La densidad del agua en la niebla se estima, de acuerdo con la presentación de la doctora Montecinos y según estudios realizados (Schemenauer and Joe, 1989), entre 0.22 g/m³ y 0.73 g/m³: Una primera aproximación es de 0.5 g/m³. También se necesita determinar la eficiencia de la recolección (Montecinos, 2013):

Por lo tanto el flujo másico recolectado será:

$$\dot{m} = \rho v A E$$

Dónde:

E = Eficiencia de recolección de la niebla (%).

Para pasar de flujo másico a caudal líquido se definirá un periodo de medición (1 día) y conociendo que un Kg de agua líquida tiene un volumen aproximadamente igual a 1 Litro, se podrá obtener el potencial de producción en L/m²-día.

La velocidad media del viento se toma de la estación más cercana al lugar de estudio, que cuenta con esta información, identificada con el código 2120639 propiedad de la CAR.

Tabla 8-1 Velocidad Media del Viento (m/s)

| AÑO | ENERO | FEBRE | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOST | SEPTI | OCTUB | NOVIE | DICIE |
|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1991 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | |
| 1992 | 1.3 | 1.2 | 1.4 | | 1.4 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 1.5 |
| 1993 | 1.4 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.3 |
| 1994 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.4 |
| 1995 | 1.6 | 1.8 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| 1996 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.4 |
| 1998 | | | | | | | | | | 2.1 | 1.7 | 1.7 |
| 1999 | 1.7 | 1.7 | 1.9 | | | | 1.9 | | | | | |
| 2003 | 1.9 | 2.3 | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 2 | 2.1 | 2.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 2004 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 |
| 2006 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.6 |
| 2007 | | | 0.6 | 0.6 | | | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | 1.9 |
| 2008 | 1.4 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.8 |
| 2009 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | | | 1.8 | 2 | 2.1 | 1.7 | 1.8 |
| 2010 | 1.9 | 2 | 2 | 1.8 | 1.6 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.6 |
| 2011 | 1.2 | 1 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1 | 1.9 | 1.4 | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 1.5 |
| 2012 | 1.1 | 1.1 | 1.7 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.3 | 1.4 |
| 2013 | 1.4 | 1.5 | 1.4 | 1.6 | | | 1.8 | 1.9 | | | | |

Fuente: Estación 2120639 CAR

De la Tabla 8-1, se tiene una velocidad media multianual del viento de 1.5 m/s, valor que se asumirá para el cálculo del potencial de producción de agua en el municipio de Jerusalén Cundinamarca.

Los parámetros asociados a la niebla se obtuvieron de la estación Climatológica Ordinaria de nombre Jerusalén con código 21235010, propiedad del IDEAM.

De dicha estación se tomaron los registros de Humedad Relativa, Temperatura y Punto de Rocío. A continuación se presenta la información:

Tabla 8-2 Humedad Relativa (%)

| HUMEDAD RELATIVA (%) – ESTACIÓN 21235010 – JERUSALÉN - IDEAM | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
| AÑO | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | VR ANUAL |
| 1975 | | | 83 | 81 | 84 | 68 | 75 | 72 | 79 | 77 | 82 | 82 | 78 |
| 1976 | 70 | 70 | 80 | 83 | 81 | 78 | 60 | 53 | 52 | 74 | 78 | 75 | 71 |
| 1977 | 65 | | | 77 | 76 | 68 | | 63 | 63 | 74 | 76 | 67 | 70 |
| 1978 | 63 | 62 | 70 | 80 | | 74 | 68 | 58 | 65 | 73 | | | 68 |
| 1979 | | | 76 | 67 | | | | | | | | | 72 |
| 1980 | | | | 57 | 56 | 60 | 58 | 60 | 60 | 62 | 62 | 64 | 60 |
| 1981 | 60 | 59 | 54 | 53 | 59 | 57 | 58 | 59 | 58 | 62 | 66 | 65 | 59 |
| 1982 | 66 | 63 | 59 | 65 | 70 | 69 | 65 | 54 | 61 | 73 | 72 | 71 | 66 |
| 1983 | 70 | 69 | 68 | 72 | 68 | 69 | | 60 | 65 | 70 | 75 | 76 | 69 |
| 1984 | | 73 | 72 | 69 | 72 | 71 | 65 | 61 | 68 | 70 | 73 | 71 | 70 |
| 1985 | 66 | 57 | 56 | 65 | 66 | 64 | 53 | 53 | 57 | 67 | 68 | 62 | 61 |
| 1986 | 64 | 68 | 70 | 69 | 69 | 69 | 62 | 61 | 62 | 67 | 67 | 59 | 66 |
| 1987 | 55 | 56 | 60 | 59 | 59 | 61 | 60 | 61 | 62 | | 73 | | 61 |
| 1988 | 59 | 62 | 58 | 61 | 60 | 63 | 61 | 61 | 59 | 58 | 61 | 59 | 60 |
| 1989 | 56 | 59 | 58 | 56 | 57 | 56 | 56 | 58 | 59 | 56 | 55 | 57 | 57 |
| 1990 | 57 | 64 | 63 | 59 | 70 | | | 56 | 65 | 80 | 82 | 79 | 68 |
| 1991 | 72 | | 81 | 77 | 78 | 73 | 68 | 64 | 65 | 70 | 80 | 73 | 73 |
| 1992 | 69 | 67 | 65 | 68 | 76 | 70 | 63 | 65 | 70 | 73 | 77 | 75 | 70 |
| 1993 | 75 | 73 | 73 | 77 | 80 | 75 | 70 | 66 | 74 | | 83 | 78 | 75 |
| 1994 | 74 | 79 | 77 | 79 | 81 | 77 | 66 | 64 | 66 | 77 | 79 | 74 | 74 |
| 1995 | 68 | 68 | 74 | 74 | 78 | 74 | 71 | 73 | 69 | 73 | 73 | 74 | 72 |
| 1996 | 71 | 73 | 75 | 74 | 75 | 74 | 69 | 68 | 70 | 72 | 70 | 71 | 72 |
| 1997 | 73 | 68 | 68 | 75 | 74 | 73 | 67 | 63 | 66 | 69 | 74 | 68 | 70 |
| 1998 | 69 | 71 | 70 | 75 | | 70 | 62 | 62 | 73 | 75 | 81 | 80 | 72 |

| PUNTO DE ROCÍO (°C)– ESTACIÓN 21235010 – JERUSALÉN - IDEAM | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|---------|----------|
| AÑO | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DIEMBRE | VR ANUAL |
| 1980 | | | | 19.7 | 19.7 | 21.6 | 21.2 | 21.2 | 20.2 | 19.7 | 19.7 | 20 | 20.3 |
| 1981 | 20 | 19.6 | | | 20.1 | | 20.1 | 19.7 | 20.1 | 19.8 | 20.6 | 20.6 | 20.1 |
| 1982 | 20.9 | | 18.3 | 20.8 | 21.1 | | 21.3 | 20.4 | 21.1 | 21.6 | 21.6 | 21.6 | 20.9 |
| 1984 | | 21.4 | 21.6 | 21.3 | 21.2 | 21.1 | 20 | 19.5 | 20.1 | 20.6 | 20.7 | 21.1 | 20.8 |
| 1985 | | 18.6 | 18.4 | 19.1 | 19.9 | 19.7 | 17.2 | 17.5 | 18.4 | 20 | 20 | 20 | 19 |
| 1986 | 19.7 | 20.3 | 20.7 | 20.3 | 20.3 | 20.4 | 19.5 | 20.3 | 20 | 20.4 | 20.4 | 19.8 | 20.2 |
| 1987 | 19.8 | 19.2 | 19.5 | 19.6 | 19.6 | 20.1 | 20.1 | 19.8 | 20.3 | | 22 | | 20 |
| 1988 | 20.3 | 20.2 | 19.8 | 19.9 | 19.6 | 19.9 | 19.5 | 19.5 | 19.5 | 19.2 | 19.5 | 19.3 | 19.7 |
| 1989 | 18.8 | 18.6 | 18.2 | 18.5 | 18.4 | 18.3 | 18.9 | 19.2 | 19.1 | 18.7 | 19.2 | 19.3 | 18.8 |
| 1990 | 19.9 | 20.9 | 20 | 19.7 | 21.6 | | | 19.1 | 20.9 | 22.6 | 23 | 22.4 | 21 |
| 1991 | 22.3 | | 22.7 | 22.5 | 22.5 | 21.8 | 21 | 20.3 | 21.1 | 21 | 22.3 | 21.8 | 21.8 |
| 1992 | 21.2 | 21.5 | 21.4 | 21.8 | 22.1 | 21.6 | 19.5 | 20.6 | 21 | 21.4 | 21.9 | 21.8 | 21.3 |
| 1993 | 21.9 | 21.8 | 21.9 | 22.6 | 22.8 | 22.3 | 21.6 | 21.7 | 22.4 | | 23.1 | 22.7 | 22.3 |
| 1994 | 22.3 | 22.7 | 22.6 | 22.8 | 22.8 | 22.2 | 21.2 | 20.8 | 21.8 | 22.6 | 22.7 | 22.2 | 22.2 |
| 1995 | 21.8 | 22.6 | 22.7 | 22.7 | 23.1 | 22.5 | 22 | 22.3 | 21.9 | 22.3 | 22.4 | 22.1 | 22.4 |
| 1996 | 21.7 | 22.1 | 22.1 | 22.4 | 22.1 | 22 | 20.9 | 21.3 | 21.7 | 21.7 | 22 | 22 | 21.8 |
| 1997 | 21.8 | 21.8 | 21.8 | 22.6 | 22.4 | 22.2 | 21.8 | 21.2 | 21.8 | 21.7 | 22.2 | 21.3 | 21.9 |
| 1998 | 22.1 | 22.2 | 22.5 | 22.9 | | 21.3 | 19.8 | 20.3 | 22.1 | 22.7 | 22.9 | 22.4 | 21.9 |
| 1999 | 22.4 | 22.6 | 22.4 | 22.2 | 22.4 | 22.6 | 20.6 | 20.1 | 21.7 | 22.3 | 22.6 | 22.6 | 22 |
| 2000 | 21.4 | 21.6 | 22 | 22.4 | 22.9 | | 21.8 | 21.6 | 22.6 | 22.6 | 22.7 | 21.6 | 22.1 |
| 2001 | 20.9 | 21.5 | 22.8 | 22.6 | 22.5 | 21.5 | 20.7 | 18.9 | 21.4 | 22.1 | | | 21.5 |
| 2002 | | | | | | | | | | 21.6 | 22.2 | 22.2 | 22 |
| 2003 | 21.2 | 21.9 | 21.9 | 22.5 | 22.3 | 21.2 | 19 | 19.6 | 20.6 | 22.8 | 22.7 | 22.3 | 21.5 |
| 2004 | 21.4 | 21 | 22 | 22.3 | 23 | 21.2 | 22 | 21.4 | 21.9 | 22.6 | 22.8 | 22.3 | 22 |
| 2005 | 21.9 | 22.5 | 22.1 | 22.2 | 22.8 | 22.4 | 20.1 | 20.3 | 20.4 | 22.4 | 22.7 | 22.4 | 21.9 |
| 2006 | 22.1 | 21.9 | 22.8 | 22.8 | 23 | 22.3 | 21.1 | 21.3 | 22.5 | 23.3 | 23.1 | 23.5 | 22.5 |

| PUNTO DE ROCÍO (°C)– ESTACIÓN 21235010 – JERUSALÉN - IDEAM | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| AÑO | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DECIEMBRE | VR ANUAL |
| 2007 | | 21.1 | 22 | | | 22.7 | 21.8 | 22.4 | | 22.9 | 23.3 | | 22.3 |
| 2008 | 22.4 | 22.7 | 22.4 | 22.9 | | | | | 22.1 | | | | 22.5 |
| 2009 | | | 22.4 | 22 | 22.3 | 22 | 20.2 | 20.7 | 20.4 | 21.5 | 22.8 | 22 | 21.6 |
| 2010 | 20.7 | 22 | 22.6 | 23.5 | 23.5 | 22.8 | 22.7 | 21.1 | 22.1 | 22.2 | 22.8 | 22.1 | 22.3 |
| 2011 | 21.6 | 22.1 | 22 | 22.8 | 23.2 | 22.3 | 19.9 | 19.8 | 19.9 | 22.5 | 23.1 | 23.2 | 21.9 |
| 2012 | 22.2 | 21.4 | 21.4 | 22.2 | 22.5 | 21.4 | | | | | | | 21.9 |
| 2013 | 21.7 | | | | | | | | | | | | 21.7 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| MEDIOS | 21.3 | 21.3 | 21.5 | 21.7 | 21.8 | 21.5 | 20.6 | 20.4 | 21 | 21.6 | 22 | 21.7 | 21.4 |
| MAXIMOS | 22.4 | 22.7 | 22.8 | 23.5 | 23.5 | 22.8 | 22.7 | 22.4 | 22.6 | 23.3 | 23.3 | 23.5 | 23.5 |
| MINIMOS | 18.8 | 18.6 | 18.2 | 18.5 | 18.4 | 18.3 | 17.2 | 17.5 | 18.4 | 18.7 | 19.2 | 19.3 | 17.2 |

Tabla 8-4 Temperatura Media (°C)

| TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)– ESTACIÓN 21235010 – JERUSALÉN - IDEAM | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
| | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DECIEMBRE | VR ANUAL |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1975 | | | 25.5 | 26.3 | 25.6 | 26.5 | 25.2 | 26.2 | 26.2 | 26.1 | 25.4 | 24.9 | 25.8 |
| 1976 | 26.3 | 26.7 | 26.2 | 25.5 | 25.7 | 25.6 | 27.7 | 29.2 | 30.2 | 27.6 | 26.3 | 26.6 | 27 |
| 1977 | 28.6 | | | 26.9 | 27.1 | 27.6 | | 28.3 | 28.9 | 27.1 | 27.2 | 29 | 27.9 |
| 1978 | 28.8 | 29.6 | 28.4 | 26.4 | | 26.5 | 27.2 | 28.8 | 28.6 | 27.3 | | | 28 |
| 1979 | | | 27.6 | 28.9 | | | | | | | | | 28.3 |
| 1980 | | | | 29.8 | 30 | 30.3 | 30.8 | 30.3 | 29.7 | 28.4 | 27.9 | 27.8 | 29.4 |
| 1981 | 29 | 28.9 | 30.9 | 31 | 29.5 | 30 | 29.7 | 29 | 29.5 | 27.8 | 27.5 | 28.5 | 29.3 |
| 1982 | 28.2 | 27.5 | 28.4 | 28.4 | 27.2 | 28.5 | 28.4 | 31.1 | 29.9 | 27.1 | 27.2 | 27.7 | 28.3 |
| 1983 | 28.6 | 28.7 | 29.1 | 28 | 28.5 | 29 | 29.2 | 29.5 | 28.6 | 28.2 | 26.5 | 27.4 | 28.4 |

| TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)– ESTACIÓN 21235010 – JERUSALÉN - IDEAM | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | ENER O | FEBR E | MARZ O | ABR IL | MAY O | JUNI O | JULI O | AGOS T | SEP TI | OCTU B | NOVI E | DIC IE | VR ANUAL |
| 1984 | | 26.9 | 27.4 | 28 | 27.1 | 27.2 | 28.2 | 28.9 | 27 | 26.9 | 26.1 | 27.4 | 27.4 |
| 1985 | 28.2 | 29 | 28.8 | 27 | 27.2 | 27.7 | 28.5 | 28.8 | 28.1 | 27.1 | 26.8 | 28.7 | 28 |
| 1986 | 27.9 | 27.2 | 27 | 26.9 | 26.9 | 27 | 28.6 | 29.4 | 28.9 | 27.6 | 27.7 | 29.5 | 27.9 |
| 1987 | 30.4 | 29.7 | 28.9 | 28.7 | 28.8 | 28.8 | 29.2 | 28.5 | 28.8 | 27.1 | 28.4 | 28.8 | 28.8 |
| 1988 | 29.8 | 28.9 | 29.7 | 28.8 | 28.8 | 28.3 | 28.4 | 28.2 | 29.1 | 28.9 | 28.1 | 28.4 | 28.8 |
| 1989 | 28.9 | 27.8 | 27.7 | 28.5 | 28.2 | 28.4 | 28.8 | 28.7 | 28.3 | 28.6 | 29.6 | 29.2 | 28.6 |
| 1990 | 29.6 | 28.9 | 28.7 | 29 | 28 | 28.7 | 28.6 | 29.8 | 29 | 26.6 | 26.8 | 26.8 | 28.4 |
| 1991 | 28.9 | 29.6 | 27.6 | 27.4 | 27.1 | 27.6 | 28.1 | 28.5 | 29.2 | 27.9 | 26.5 | 27.6 | 28 |
| 1992 | 28.2 | 29 | 29.8 | 29.1 | 27.5 | 28.4 | 28.1 | 28.6 | 27.7 | 27.1 | 26.7 | 27 | 28.1 |
| 1993 | 27.2 | 27.7 | 27.8 | 27.4 | 26.9 | 27.7 | 28.3 | 29.2 | 28 | | 26.6 | 27.4 | 27.7 |
| 1994 | 27.8 | 27.1 | 27.4 | 27.1 | 26.8 | 27.1 | 28.8 | 29.2 | 29.6 | 27.4 | 27 | 27.6 | 27.7 |
| 1995 | 29.2 | 30 | 28.4 | 28.4 | 27.6 | 28.3 | 28.7 | 28.6 | 29 | 28.2 | 28.5 | 27.6 | 28.5 |
| 1996 | 28.1 | 28 | 27.5 | 27.9 | 27.5 | 27.5 | 28 | 28.5 | 28.4 | 28 | 29 | 28.7 | 28.1 |
| 1997 | 27.9 | 29.1 | 28.9 | 28 | 28 | 28 | 29.4 | 30 | 29.6 | 28.7 | 27.7 | 28.6 | 28.7 |
| 1998 | 29.3 | 29 | 29.5 | 28.4 | 27.7 | 28.1 | 29 | 29.6 | 28.3 | 28 | 26.6 | 26.6 | 28.3 |
| 1999 | 26.6 | 26.2 | 27.2 | 26.8 | 26.9 | 26.4 | 27.7 | 28.9 | 26.9 | 26.3 | 26.5 | 26.6 | 26.9 |
| 2000 | 27.4 | 27.3 | 27 | 26.8 | 26.6 | * | 27.8 | 28.7 | 26.7 | 26.9 | 26.6 | 26.9 | 27.2 |
| 2001 | 27.5 | 27.9 | 26.7 | 27.9 | 27.8 | 28.3 | 28.8 | 30.1 | 29 | 28.7 | 26.9 | 27.5 | 28.1 |
| 2002 | 29.2 | 29.1 | 28.3 | 26.7 | 27.9 | 27.2 | 28 | 29.6 | 29 | 28 | 27.2 | 27.3 | 28.1 |
| 2003 | 28.9 | 29.1 | 28.3 | 27.8 | 28.2 | 28 | 29.4 | 30.4 | 28.8 | 27 | 26.4 | 27.5 | 28.3 |
| 2004 | 28.7 | 28.9 | 28.9 | 27.4 | 27.7 | 28.3 | 27.7 | 30.2 | 29.1 | 27.2 | 27.3 | 27.1 | 28.2 |
| 2005 | 27.8 | 28.8 | 29.2 | 28.8 | 27.8 | 28.1 | 29.2 | 29.9 | 30.3 | 28.1 | 27.3 | 26.9 | 28.5 |
| 2006 | 27.6 | 28.5 | 27.3 | 27.2 | 28.1 | 28 | 29.3 | 30.1 | 29 | 27.7 | 26.9 | 27.2 | 28.1 |
| 2007 | | 30.1 | 28.6 | 27.8 | 27.1 | 27.4 | 28.6 | 28 | 29.1 | 27.6 | 26.6 | 26.4 | 27.9 |
| 2008 | 27.6 | 27.5 | 27.6 | 27.5 | 26.8 | 27.6 | 28.7 | 28 | 27.3 | 27 | 26.6 | 27.1 | 27.4 |
| 2009 | 27.1 | 27.4 | 26.9 | 27.8 | 27.6 | 27.6 | 29 | 29.9 | 29.9 | 28.5 | 27.3 | 28.1 | 28.1 |

| TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)– ESTACIÓN 21235010 – JERUSALÉN - IDEAM | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | ENER O | FEBR E | MARZ O | ABR IL | MAY O | JUNI O | JULI O | AGOS T | SEP TI | OCTU B | NOVI E | DIC IE | VR ANUAL |
| 2010 | 29.3 | 30.1 | 29.9 | 28.1 | 27.9 | 27.2 | 27.3 | 28.2 | 28.1 | 27.8 | 26.9 | 26.5 | 28.1 |
| 2011 | 28.3 | 27.9 | 27.7 | 26.8 | 26.9 | 28.6 | 29.2 | 29.8 | 29.5 | 27 | 26.4 | 27.1 | 27.9 |
| 2012 | 27.2 | 27.6 | 28.4 | 27.5 | 27.6 | 28.7 | | | | | | | 27.8 |
| 2013 | 29.1 | | | | | | | | | | | | 29.1 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| MEDIOS | 28.3 | 28.4 | 28.1 | 27.8 | 27.6 | 27.9 | 28.5 | 29.1 | 28.7 | 27.6 | 27.1 | 27.5 | 28.1 |
| MÁXIMOS | 30.4 | 30.1 | 30.9 | 31 | 30 | 30.3 | 30.8 | 31.1 | 30.3 | 28.9 | 29.6 | 29.5 | 31.1 |
| MÍNIMOS | 26.3 | 26.2 | 25.5 | 25.5 | 25.6 | 25.6 | 25.2 | 26.2 | 26.2 | 26.1 | 25.4 | 24.9 | 24.9 |

De la información recogida se obtienen los siguientes resultados:

Humedad Relativa Máxima: 84 %

Humedad Relativa Media: 70%

Humedad Relativa Mínima: 52%

Se puede observar un alto contenido de humedad que podría garantizar la formación de niebla.

Punto de Rocío Máximo: 23.5°C

Punto de Rocío Medio: 21.4 °C

Punto de Rocío Mínimo: 17.2 °C

De la Ilustración 5-4, con el punto de Rocío Medio (21.4 °C) y la Humedad Relativa Media determinada (70%), se obtiene la temperatura a la cual se empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, generando niebla, neblina o rocío. En este caso, se obtiene una temperatura de 27°C, la cual es menor a la temperatura Media Multianual encontrada (28.1 °C), lo que indicaría que la probabilidad de formación de niebla es alta, especialmente en las zonas altas del municipio dónde es más factible la aparición de este fenómeno.

La densidad del agua en la niebla se toma del rango recomendado por (Schemenauerand Joe, 1989) 0.22 g/m³ a 0.73 g/m³, para este trabajo se adopta 0.5 g/m³.(Montecinos, 2013):

Usando las siguientes ecuaciones:

$$\dot{m} = \rho v A$$

Dónde:

\dot{m} = Flujo Másico (Kg/s)

v = Velocidad media del viento (m/s).

ρ = Densidad del agua en la niebla (Kg/m^3).

A = Sección transversal (m^2) (para este caso se toma una superficie de 1 m^2).

También se necesita determinar la eficiencia de la recolección, para lo cual se asumirá un valor conservador (10%):

Por lo tanto el flujo másico recolectado será:

$$\dot{m}_r = \rho v A E$$

Dónde:

E = Eficiencia de recolección de la niebla (%).

Para encontrar el potencial de producción en L/m^2 -día se convierte el flujo másico a caudal líquido, se define un periodo de medición (1 día) y conociendo que un Kg de agua tiene un volumen aproximado de 1 Litro.

Reemplazando en la primera ecuación se obtiene el caudal másico:

$$\dot{m} = \left(0.0005 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) (1.5 \text{ m/s}) (1 \text{ m}^2) = 0.00075 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Eficiencia de la recolección: 20% supuesto

El Flujo másico recolectado será:

$$\dot{m}r = (\dot{m})(E) = \left(0.000075 \text{ Kg/s}\right)(10\%) = 0.000075 \text{ Kg/s}$$

La producción diaria para una superficie de 1 m^2 será:

$$\dot{m}r_{diario} = (\dot{m}r)(86400 \text{ s}) = \left(0.000075 \text{ Kg/s}\right)(86400 \text{ s}) = 6.48 \text{ Kg/d} - \text{m}^2$$

Lo que es equivalente a 6.48 L/d-m^2 .

8.2 Localización de Captadores de Niebla

Dentro de la bibliografía consultada aparece un método para ubicar las zonas con potencial de niebla, a partir del uso de imágenes satelitales y la aplicación del índice espectral NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Centro del Desierto de Atacama, 2013).

Con esta metodología se podrían ubicar con mayor precisión los lugares donde es posible instalar los captadores de niebla ya que se identifica los tipos de vegetación existente teniendo la posibilidad de determinar la localización de la vegetación de niebla que tiene un índice NDVI cercano a 0.7 (Centro del Desierto de Atacama, 2013).

A continuación se hace una descripción de las bases teóricas que encierran la metodología usada para determinar el índice NDVI, pasando por el tipo de imagen satelital usado y los distintos software.

8.2.1 Imagen satelital

La imagen digital que es capturada por un sensor remoto, el cual toma secuencialmente todo lo presente en la superficie terrestre, adquiriendo a intervalos regulares la radiación que proviene de los objetos ubicados en la superficie. Una imagen satelital está compuesta por una matriz de

datos cuya unidad visual más pequeña es el pixel que indica la radiancia promedio de un área sobre el terreno. Este valor promedio es cambiado por el sensor a un valor numérico entero. Es decir el pixel es la traducción que realiza el sensor de la radiancia recibida de la superficie terrestre en una determinada banda del espectro electro-magnético. El valor numérico que lleva el pixel se denomina “nivel digital” o ND. Este valor puede ser llevado a una escala de grises con lo cual es posible visualizar la imagen digital a través de un software y un monitor. La orientación de las imágenes satelitales viene dada aproximadamente por la disposición de filas y columnas, en donde las filas indican el norte y sur en la matriz, y las columnas indican el oeste y este, en la matriz la (fila 1, columna 1) nos muestra el origen de coordenadas (Chuvieco, 1995).

8.2.2 Programa Landsat

Desde hace tres décadas, la nave espacial Landsat ha recogido imágenes digitales especializadas de los continentes de la Tierra y las regiones costeras. Los científicos y los investigadores utilizan estas imágenes para evaluar los cambios dinámicos en nuestro entorno, tanto los fenómenos naturales como los cambios causados por las actividades humanas (Alcorn, 2007).

Originalmente conocido como la Earth Resources Technology Satellite Program (ERTS), el Programa Landsat se inspiró en fotografías de la Tierra tomadas por las misiones Apolo de la Luna en la década de 1960. Mientras que los satélites meteorológicos ya estaban monitoreando la atmósfera de la Tierra, éstos no fueron diseñados para recoger datos sobre el terreno. La intención expresa del Programa Landsat era utilizar naves espaciales en órbita para estudiar y vigilar las masas continentales de la Tierra. Los proyectos Mercury y Gemini habían demostrado previamente la viabilidad del proyecto, así como la utilidad de la fotografía orbital para científicos de la tierra (Alcorn, 2007).

El programa Landsat se convirtió en realidad cuando Landsat-1, el primer satélite no tripulado dedicado específicamente a la teledetección multispectral, fue lanzado el 23 de julio de 1972. Landsat-1, un esfuerzo conjunto entre la NASA y el USGS, fue el primero de una serie de 8

satélites (hasta la fecha) de observación terrestre que proporcionan cobertura continua de la mayor parte de la superficie de la tierra. Hoy, 3 de estos satélites están todavía en funcionamiento, Landsat-5, Landsat-7 y Landsat-8 (NASA, 2015).

8.2.3 Trayectoria de la radiancia y reflectancia absoluta

La radiancia L detectada por la cámara es una función de la cantidad de radiación dejada por el terreno objetivo dentro del campo de visión instantáneo (IFOV) en un ángulo sólido. Desafortunadamente, otra energía radiante puede entrar en el campo de visión de otras trayectorias e introducir confusión en el proceso de detección remota. Por lo tanto, se necesitan definiciones de variables radiométricas adicionales para identificar las principales fuentes y trayectorias de esta energía (Jensen, 2005). Las variables se resumen en la Tabla 8-5. Las diferentes trayectorias y factores que determinan la radiancia que llegan al sensor se muestran en la Ilustración 8-1.

Tabla 8-5 Valores radiométricos usados en sensores remotos

| |
|---|
| E_0 = Irradiancia solar en el tope de la atmósfera (Wm^{-2}) |
| $E_{0\lambda}$ = Irradiancia espectral solar en el tope de la atmósfera ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$) |
| E_d = Irradiancia difusa en el cielo (Wm^{-2}) |
| $E_{d\lambda}$ = Irradiancia difusa espectral en el cielo ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$) |
| $E_{du\lambda}$ = Reflectancia ascendente de la atmósfera |
| $E_{dd\lambda}$ = Reflectancia descendente de la atmósfera |
| E_g = Irradiancia incidente global sobre la superficie (Wm^{-2}) |
| $E_{g\lambda}$ = Irradiancia espectral global sobre la superficie ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$) |
| τ = Espesor óptico atmosférico normal |
| T_θ = Transmitancia atmosférica en un ángulo θ a el zenith |
| θ_0 = Ángulo cenital del sol |
| θ_v = Ángulo de visión del sensor en el satélite |
| $\mu = \cos \theta$ |

| |
|---|
| ρ_{λ} = Reflectancia de superficie objetivo en una longitud de onda específica |
| $\rho_{\lambda\Pi}$ = Reflectancia desde una zona vecina |
| L_s = Radiancia total en el sensor ($Wm^{-2}sr^{-1}$) |
| L_t = Radiancia total desde el objetivo de interés hasta el sensor ($Wm^{-2}sr^{-1}$) |
| L_i = Radiancia intrínseca del objetivo ($Wm^{-2}sr^{-1}$) |
| L_p = Trayectoria de radiancia desde dispersiones múltiples ($Wm^{-2}sr^{-1}$) |

Trayectoria 1: Contiene irradiancia solar espectral $E_{0\lambda}$ que fue atenuada muy poco antes de iluminar el terreno dentro de la IFOV. Nótese que en este caso interesa la irradiancia solar desde un ángulo específico cenital solar θ_0 y que la cantidad de irradiancia alcanzada en el terreno es una función de la transmitancia atmosférica en este ángulo T_{θ} . Si toda la irradiancia llega al suelo, entonces la transmitancia atmosférica T_{θ} es igual a uno. Si nada de la irradiancia llega al suelo, la transmitancia atmosférica es cero (Jensen, 2005).

Trayectoria 2: Contiene irradiancia difusa en el cielo $E_{d\lambda}$ que no llega a la superficie de la tierra o al área objeto de estudio debido a la dispersión que hay en la atmósfera. Desafortunadamente, este tipo de energía a menudo se dispersa directamente en el IFOV del sistema sensor. La dispersión de Rayleigh de la luz azul contribuye mucho a que exista la irradiancia difusa en el cielo. Es por eso que la imagen de banda azul producida por un sistema de sensor remoto es a menudo mucho más brillante que cualquiera de las otras bandas (Jensen, 2005).

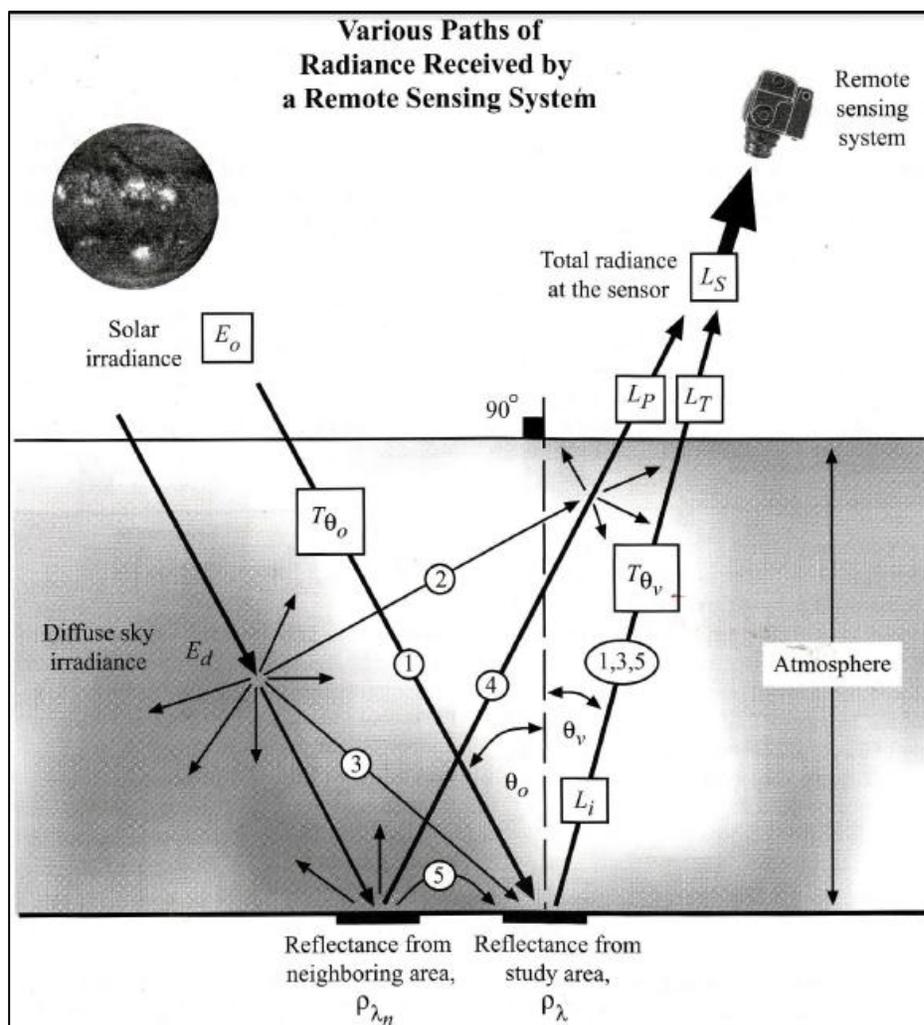
Trayectoria 3: Contiene la energía del Sol que ha sufrido algún tipo de dispersión como Rayleigh, Mie, y/o dispersión no selectiva y tal vez un poco de absorción y reemisión antes de llegar al área de estudio. Por lo tanto, su composición espectral y la polarización puede ser algo diferente de la energía que llega a la tierra desde la trayectoria 1 (Jensen, 2005).

Trayectoria 4: Contiene la radiación que se refleja o dispersa por el terreno cercano al área de estudio $\rho_{\lambda\Pi}$ cubierto por nieve, concreto, agua en el suelo, y/o la vegetación en el IFOV del

sensor. La energía no llega de manera directa en el área de estudio. De este modo es posible reducir sus efectos (Jensen, 2005).

Trayectoria 5: En esta parte se trata de la energía que también se refleja en terrenos cercanos al área de estudio por medio de la atmósfera, pero luego es reflejada o dispersada en el área de estudio (Jensen, 2005).

Ilustración 8-1 Diferentes trayectorias de radiancia recibida por un sistema sensor remoto



Fuente: (Jensen, 2005)

La energía que es reflejada por la tierra sale con un ángulo θ_v , y se requiere para la transmitancia de la atmósfera T_{θ_v} (Jensen, 2005).

Lo ideal sería que el total de radiancia registrada por el sensor, L_S , fuera igual a la radiancia retornada desde el área de estudio, L_T . Pero $L_S \neq L_T$ porque hay radiación adicional proveniente de diferentes trayectorias que entran al IFOV del sensor. Esto se conoce como trayectoria de radiancia, L_P (Jensen, 2005). Por lo tanto, la radiancia total registrada por el sensor se convierte en:

$$L_S = L_T + L_P \quad (WM^{-2}sr^{-1})$$

La irradiancia incidente global sobre la superficie E_g se define como:

$$E_g = E_{0\Delta\lambda} T_{\theta_0} \cos \theta_0 \Delta\lambda + E_d$$

Donde $E_{0\Delta\lambda}$ es la irradiancia promedio espectral en un intervalo de banda $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. El total de radiancia transmitido a través de la atmosfera hacia el sensor L_T se convierte en:

$$L_T = \frac{1}{\pi} \rho T_{\theta_v} (E_{0\Delta\lambda} T_{\theta_0} \cos \theta_0 \Delta\lambda + E_d)$$

Así el total de radiancia en el sensor se convierte en:

$$L_S = \frac{1}{\pi} \rho T_{\theta_v} (E_{0\Delta\lambda} T_{\theta_0} \cos \theta_0 \Delta\lambda + E_d) + L_P$$

De este modo:

$$L_S - L_P = \frac{1}{\pi} \rho T_{\theta_v} (E_{0\Delta\lambda} T_{\theta_0} \cos \theta_0 \Delta\lambda + E_d)$$

Y la ecuación para la reflectancia absoluta es:

$$\rho = \frac{\Pi(L_S - L_P)}{T_{\theta_v}(E_{0\Delta\lambda} T_{\theta_0} \cos \theta_0 \Delta\lambda + E_d)}$$

8.2.4 Archivo de calibración

ATCOR 2 requiere tener archivos de calibración para cada sensor de Landsat, los cuales dependen de la mínima y máxima radiancia por cada banda que se pueden encontrar en el metadato de cada imagen, a continuación se muestra cómo se definen los coeficientes C_0 y C_1 según la mínima y máxima radiancia (GEOSYSTEMS, 2015).

$$C_0 = 0.1 * L_{\min} \quad C_1 = 0.1 * \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255}$$

El factor 0.1 se debe a que las unidades de radiancia en las imágenes Landsat tienen unidades $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ y se deben convertir a unidades de ATCOR que son $mWm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$.

Dónde:

W: Vatio o watt

mW: milivatio 10^{-3} m.

m: Metros al cuadrado

sr: Estereo radian, es la unidad que mide ángulos sólidos, equivalente tridimensional del radian, gráficamente se representa en una esfera.

μm : Micrómetro 10^{-6} m.

El segundo tipo de archivos de donde se puede calcular la radiancia para cada banda en Landsat son el BIAS y GAIN, en donde la ecuación general para la radiancia es:

$$L = B + G * DN$$

$$B = L_{\min} - \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) Q_{\min}$$

$$G = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{max} - Q_{min}} \right)$$

En donde B=bias, G=gain, y $Q_{min}=1$, $Q_{max}=255$, de nuevo el factor 0.1 es necesario para transformar las unidades a ATCOR para la radiancia:

$$c_0 = 0.1 * BIAS \text{ y } c_1 = 0.1 * GAIN$$

Tabla 8-6. Información requerida para obtener reflectancia absoluta

| | |
|---------------------------|-----------------|
| | Imagen 1985 |
| Fecha de la toma | 22/03/1985 |
| Cenit solar | 35.5683082 |
| Factor de escala | 4 (por defecto) |
| Elevación del suelo | 0.3 km |
| Visibilidad de la escena | 16 km |
| Tipo de aerosol | Rural |
| Modelo para región solar | Tropical rural |
| Modelo para región termal | Tropical |

8.2.5 Índices de vegetación

Es una división, pixel a pixel, entre los valores de reflectancia absoluta que se almacenan en dos o más bandas de una misma imagen. Los índices se utilizan cuando se necesita mejorar la discriminación entre suelos y vegetación, y también para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas. Los índices de vegetación se usan para discriminar masas vegetales, en donde se hace uso del comportamiento radiométrico de estas cubiertas. Cuando se quiere observar la vegetación sana se puede identificar observando las bandas del visible especialmente en la banda roja (0,6 a 0,7 μm) y el infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μm). En la región del visible, los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz que reciben (para realizar la función clorofílica), en el infrarrojo cercano estas sustancias son bastante

transparentes. Por esta razón, la vegetación sana ofrece baja reflectividad en la banda roja del espectro y alta en el infrarrojo cercano. Al contrario la vegetación enferma, y sobre todo con los suelos, es bastante evidente en estas dos bandas. Los suelos, ofrecen menor variación espectral a distintas longitudes de onda. Cuanto mayor sea el contraste entre los niveles digitales de la banda infrarroja y roja, mayor vigor vegetal presentara la cubierta observada. Bajos valores de contraste indican una vegetación enferma o senescente, las cubiertas sin vegetación tienen un contraste muy pequeño (Chuvieco, 1995).

En el uso de las bandas rojo e infrarrojo cercano es que se apoya la gran parte de los índices de vegetación. Uno de los índices más empleados es el denominado índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = \frac{INRC - R}{INRC + R}$$

Dónde:

INRC: Banda infrarrojo cercano

R: Banda Rojo

En el Anexo 4 – Análisis NDVI, se presenta un plano con la imagen Landsat usada y otro plano con el procesamiento y el NDVI obtenido, en este último se logran identificar los sitios donde se podrían instalar los captadores de niebla.

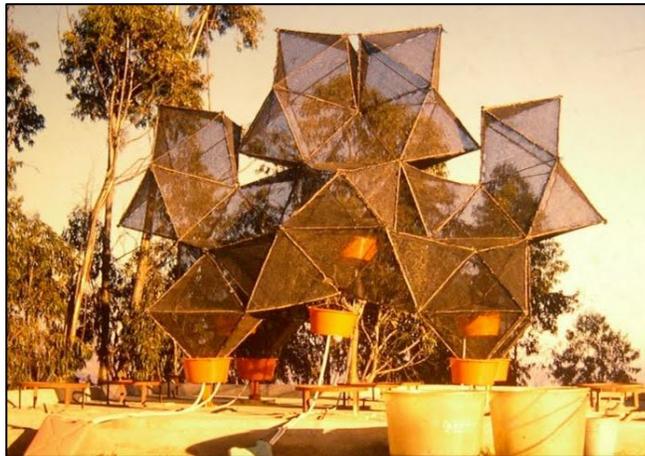
9. Descripción de Estructuras Para Atrapar Niebla

En este capítulo se hará un recorrido por los diferentes tipos de estructuras usadas para captar niebla y que han mostrado un funcionamiento óptimo.

9.1 Captador Macrodiamante

Este tipo de captador se desarrolló en la década de 1950 por un grupo de investigadores liderados por Carlos Espinosa Arancibia, físico de la Universidad de Chile, fue el primero en su tipo, consiste en una estructura tridimensional poliédrica formada por tubos y mallas tipo Raschel, ver Ilustración 9-1.

Ilustración 9-1 Captador de Niebla Tipo Macrodiamante



Tomado de (Integrado 2011 Atrapanieblas, 2015)

Al poseer caras en diferentes direcciones se reduce el problema de la dirección de los vientos, aumentando la eficiencia en la recolección, gracias a su robustez se genera mayor resistencia frente a la fuerza del viento, por su particular forma se puede elevar a grandes alturas. La gran desventaja de este tipo de estructura es que su costo es superior a las demás tipos de estructura destinadas para captar niebla (Aránguiz, Morales, Nieto, Silva, 2009).

9.2 Captador Cilíndrico

El captador de niebla tipo cilíndrico tuvo un desarrollo posterior al macrodiamante, se presentó en la década de 1980, el primer desarrollador de esta tecnología fue Nazareno Carvajal.

La forma típica de esta estructura corresponde a un cilindro de dos (2) m de altura rodeado por centenares de hilos verticales muy finos, se monta sobre un recipiente que recoge el agua captada. Ver Ilustración 9-2.

Ilustración 9-2 Captador de Niebla Tipo Cilíndrico



Tomado de: (Aránguiz, Morales, Nieto, Silva, 2009)

9.3 Captador Bidimensional

Este tipo de estructura es el más usado en la actualidad consiste un dos postes separados una distancia cualquiera, entre los postes se coloca una malla tipo Raschel con altura determinada, los postes son estabilizados gracias a una serie de tensores. La malla capta la niebla y la lleva hasta una canaleta, desde la cual se conduce el agua líquida hasta un tanque de almacenamiento.

Se debe identificar la dirección del viento predominante, el captador se ubica en forma perpendicular a esta dirección y así aumentar la eficiencia en la captación del agua.

El captador puede ser de un solo módulo, es decir dos postes y una malla, o de varios módulos como se aprecia en la Ilustración 9-3.

Ilustración 9-3 Captador de Niebla Tipo Bidimensional



Tomado de: (oocities.org, 2015)

Dado que el captador tipo Bidimensional es el más usado en proyectos encaminados a capturar niebla se profundiza en este tipo de estructura haciendo un recorrido por sus componentes.

9.3.1 Postes de Soporte

Como se mencionó anteriormente se tienen dos o más postes, según el número de módulos a usar. Estos elementos se encargan de sostener y dar estabilidad a las mallas captadoras. Se recomiendan para este fin tubos de acero inoxidable, con las especificaciones presentadas en los planos del Anexo 1.

La cimentación de estos postes consiste en una caja de apoyo, cimentada con concreto, en la cual está embebida una placa de soporte que a su vez se conecta a una rótula de apoyo, ver Anexo 1.

9.3.2 Tensores

Estos componentes son los encargados de sujetar los postes al terreno, dando estabilidad a la estructura completa y absorbiendo los embates del viento, quitándole esfuerzo a los postes, ver Ilustración 9-3.

El material de estos tensores es guaya o cable de acero con las especificaciones mostradas en el Anexo 1, que van conectados a anclajes de acero amarrados a bloques de concreto que van enterrados en el suelo.

9.3.3 Malla

Gracias a los estudios realizados con anterioridad se ha logrado establecer que la malla que más cantidad de agua retiene y a la vez ofrece mayor resistencia al viento es la denominada Raschel, hoy en día es la que más se usa en este tipo de estructuras. (Aránguiz, Morales, Nieto, Silva, 2009).

La malla tipo Raschel está constituida por un tejido de finos hilos de polipropileno; éstas mallas se fabrican en diferentes densidades que van desde el 35% hasta el 95% (la densidad indica el porcentaje de sombra que genera la malla). Para captar niebla se usa la malla de densidad 35%, presenta mejor rendimiento ya que permite el paso de mayor flujo de viento y retiene mayor porcentaje de agua.

En el montaje de la malla dentro de la estructura debe asegurarse que se cuente con doble malla, para garantizar un espacio entre las mallas donde el agua captada se pueda condensar y decantar hacia la canaleta de recolección.

Las mallas deben contar con cables de refuerzo espaciados equidistantemente y cables que formen un marco a su alrededor para permitir soportar cargas verticales y horizontales originadas especialmente por los vientos.

9.3.4 Canaleta Recolectora

Este componente es el encargado de recolectar el agua captada por la mallas y que posteriormente se decanta. El agua recolectada en la canaleta se conduce hasta las tuberías de aducción, se recomiendan flexibles, que la depositaran en tanques de almacenamiento.

La malla irá amarrada al cable ubicado en la parte inferior de la malla. Se recomienda que el material usado para la canaleta sea muy flexible, debido a los continuos esfuerzos a los que estará sometido por las fuerzas de los vientos.

9.3.5 Tanque de almacenamiento

Este componente es muy importante ya que permite controlar el suministro del agua según sea el uso que se le tenga destinado, compensando las demandas pico y evitando que se presente un corte en el servicio, siempre y cuando se tenga una entrada continúa del líquido.

El dimensionamiento del tanque variará según el uso que se le vaya a dar al agua captada, que puede ser para consumo humano, ganadero, agrícola, industrial o minero.

Después del tanque de almacenamiento se deberá contar con una planta de tratamiento de agua potable si el uso va ser de consumo humano y luego una red de distribución.

10. Conclusiones Generales y Lecciones Aprendidas

- En este documento se hace un acercamiento a la tecnología de los captadores de niebla. Se espera sea la base para futuras implementaciones en terreno y mediciones.
- La medición de la producción de agua líquida a partir de niebla se hace a través de los neblinómetros, existen diferentes tipos de neblinómetros que se pueden adoptar. Otros parámetros asociados a la generación de niebla son: humedad relativa, punto de rocío, temperatura y velocidad del viento; éstos se miden a través de la extensa red de estaciones que tienen instalados el IDEAM y las diferentes CARs.
- Para determinar el potencial de producción de agua líquida a partir de la niebla se usa la ecuación de flujo másico que se define como la velocidad a la cual la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada.
- Se tiene una experiencia acumulada a través de diferentes proyectos aplicados a través del mundo, auspiciados por la organización canadiense FogQuest, lo que da cierta confianza en la implementación de esta tecnología.
- Gracias a la innovación tecnológica de los sensores remotos, a través de satélites, es posible obtener información primaria de las características climatológicas y geográficas de un lugar sin la necesidad de hacer visitas de campo, el grupo de satélites que más precisión dan en la medición de nubosidad son los geoestacionarios, ya que al estar quietos en un punto respecto al planeta proporcionan una visión muy aproximada del movimiento de las nubes sobre un área determinada. En las imágenes, las áreas sin nubes aparecen oscuras, sin embargo las nubes muy bajas y la niebla pueden aparecer oscuras o grises, las demás nubes se aparecen en tonalidades claras. Éstas imágenes se obtienen mediante el sistema GOES (Geostationary Operational Environmental Satélite), perteneciente a la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration - U.S.A.).

- Se seleccionó, en éste trabajo, el municipio de Jerusalén - Cundinamarca para la posible aplicación de los captadores de niebla, ya que es el municipio que más información posee de parámetros relacionados con la niebla, como humedad relativa y temperatura, cuenta con un periodo de registros de 41 años por parte del IDEAM, el parámetro de velocidad del viento se tomó de una estación cercana ubicada en el municipio de La Mesa.
- Para ubicar los lugares aproximados donde se instalaran los captadores de niebla se usa la metodología basada en imágenes satelitales y la aplicación del índice espectral NDVI (Normalized Difference Vegetation Index); ya que se identifican los tipos de vegetación existente, teniendo la posibilidad de determinar la localización de la vegetación de niebla que tiene un índice NDVI cercano a 0.7.
- Existen diferentes tipos de estructuras usadas para captar niebla: macrodiamante, cilíndrico y bidimensional. En este trabajo se escogió el captador tipo bidimensional por ser el más usado, de mayor facilidad en la instalación y menores costos en comparación con otros tipos de captador de niebla.
- Antes de implementar un proyecto de gran magnitud es muy importante verificar que el lugar seleccionado efectivamente tenga los niveles de producción estimados con los cálculos previos. Para esto se debe instalar en el sitio un neblinómetro que registre la producción de caudal a partir de niebla.
- Además de niebla, el captador también puede producir caudal líquido a partir de eventos como escarcha y precipitaciones pluviales.
- Esta tecnología puede ser usada para abastecimiento de pequeñas comunidades, labores agrícolas, ganadería y recuperación de suelos áridos o erosionados.

- De acuerdo con la experiencia recogida en proyectos que han sido implementados en distintas partes del mundo, el mayor problema detectado es el deterioro de las estructuras por falta de mantenimiento de los sistemas.
- Se debe buscar una apropiación de las comunidades con este tipo de sistemas para garantizar su buen funcionamiento en un tiempo indefinido.
- Se debe tener un operario que vigile el funcionamiento de los sistemas captadores de niebla, que atienda las contingencias y haga mantenimiento preventivo.

11. Bibliografía

Alcorn. (Agosto de 2007). The LANDSAT Program. Obtenido de The LANDSAT Program: <http://novaonline.nvcc.edu/eli/evans/his135/events/landsat/background.html>

Aránguiz, Morales, Nieto, Silva. (2009). Diseño Generativo Aplicación en Sistemas de Atrapanieblas en el Norte de Chile. Santiago de Chile.

CAR. (5 de Julio de 2015). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca: <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=10573>

Centro del Desierto de Atacama. (2013). Avances Científicos en el Estudio de la Niebla. Seminario: La Niebla, Fuente No Convencional de Recursos Hídricos. La Serena.

Chuvieco. (1995). Fundamentos de Teledetección Espacial, Segunda Edición. Madrid España: Ediciones Rialp S.S.

CONAF. (2013). Experiencia de CONAF en el Aprovechamiento de las Neblinas Costeras (Camanchaca). Seminario: "La niebla, una fuente alternativa de recursos hídricos en zonas semiáridas, con sistemas de captación altamente eficientes y usos no tradicionales". La Serena.

Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. (5 de Julio de 2015). [aero.ing.unlp.edu.ar](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar). Obtenido de [aero.ing.unlp.edu.ar](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar): <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/meteorologia/Topes%20nubosos%20e%20imagenes%20satelitales.html>

FogQuest: Sustainable Water Solutions. (5 de Julio de 2015). [fogquest.org](http://www.fogquest.org). Obtenido de [fogquest.org](http://www.fogquest.org): http://www.fogquest.org/?page_id=44

GEOSYSTEMS. (5 de Julio de 2015). [geosystems.de](http://www.geosystems.de). Obtenido de [geosystems.de](http://www.geosystems.de): <http://www.geosystems.de/>

Godínez, L. T. (2013). Recolección de Agua por Rocío y Niebla. San Juan de Aragón.

IDEAM. (2011). Monitoreo a los Ciclos de Agua y Carbono en Ecosistemas de Alta Montaña. Bogotá D.C.

IDEAM. (5 de Julio de 2015). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: http://institucional.ideam.gov.co/jsp/solicitud-de-informacion_993

Integrado 2011 Atrapanieblas. (5 de Julio de 2015). Integrado 2011 Atrapanieblas. Obtenido de Integrado 2011 Atrapanieblas: <http://integradoatrapanieblas2011.blogspot.com/2011/04/atrapanieblas.html>

Jensen. (2005). Introductory Digital Image Processing. Prentice Hall.

Montecinos, S. (2013). Mean Meteorology of the Coquimbo Region. Seminario: La niebla, una fuente alternativa de recursos hídricos en zonas semiáridas, con sistemas de captación altamente eficientes y usos no tradicionales. La Serena, Chile.

NASA. (5 de Julio de 2015). NASA Landsat Science. Obtenido de NASA Landsat Science: http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=2281

oocities.org. (5 de Julio de 2015). Curso de Sistemas de Captación de Agua de Niebla. Obtenido de Curso de Sistemas de Captación de Agua de Niebla: <http://www.oocities.org/institutoingefor2/cursos/curso02/niebla2.html>

SIAC. (5 de Julio de 2015). Sistema de Información Ambiental de Colombia. Obtenido de Sistema de Información Ambiental de Colombia: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=824&conID=1262&pagID=1425>

Vásquez, Solís, Sibaja, Esquivel, Valdés. (2012). Composición Química del Agua de Lluvia y de Niebla Recolectada en la Reserva Biológica Monteverde. UNICIENCIA, 51-63.

weather.msfc.nasa.gov. (5 de Julio de 2015). weather.msfc.nasa.gov. Obtenido de weather.msfc.nasa.gov: <http://weather.msfc.nasa.gov/cgi-bin/post-goes>

Wikipedia. (5 de Julio de 2015). Wikipedia. Obtenido de Wikipedia: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dewpoint-RH.svg>

12. Anexos

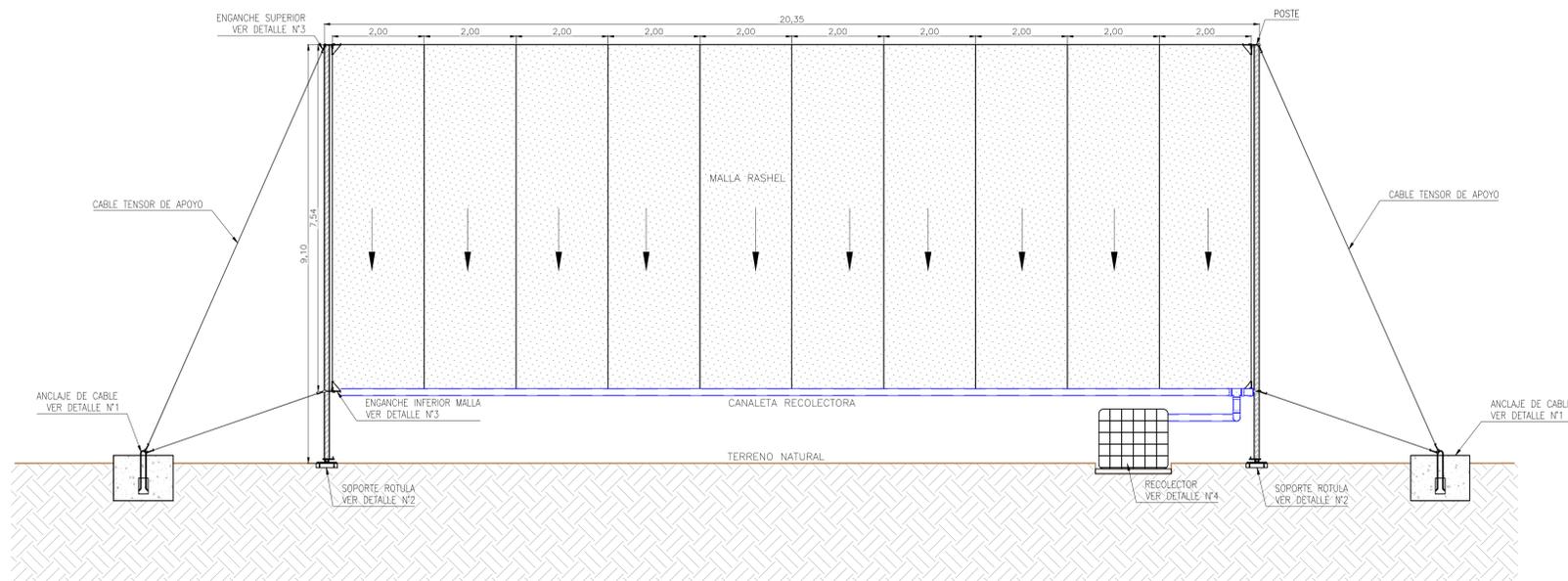
Anexo 1 Planos

Anexo 2 Información Meteorológica

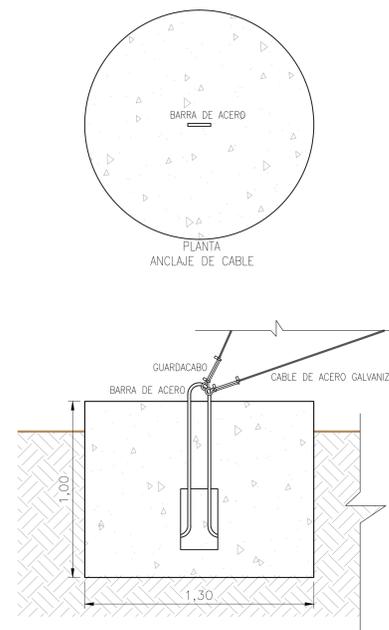
Anexo 3 Análisis NDVI

Anexo 4 Información Recopilada (Medio Magnético)

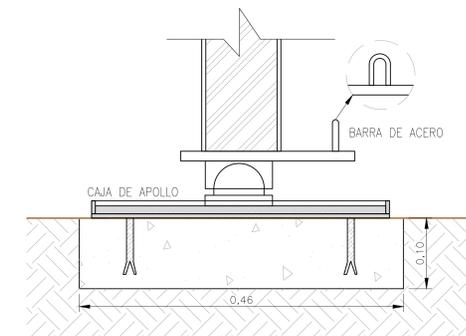
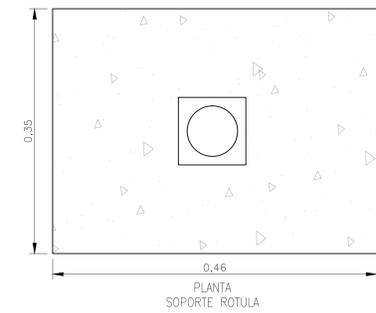
ANEXO 1 PLANOS



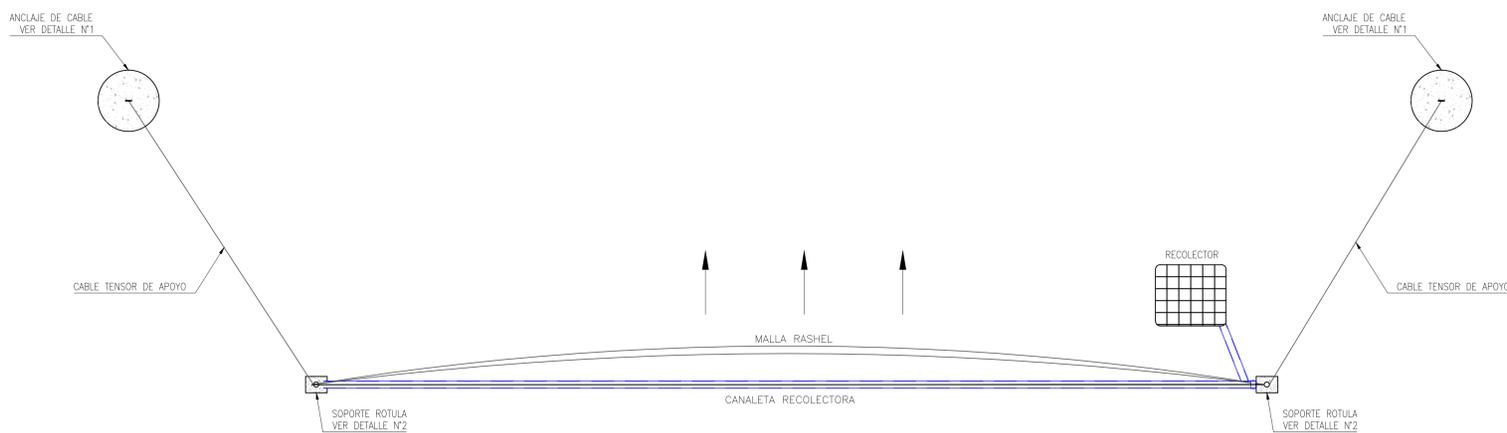
VISTA FRONTAL
ATRAPA NIEBLAS
ESC: 1:75



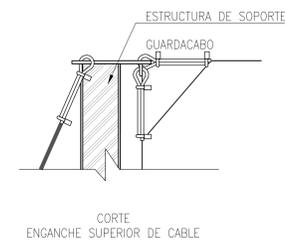
DETALLE N°1
ESC: 1:20



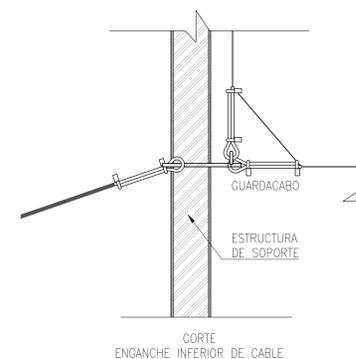
DETALLE N°2
ESC: 1:5



VISTA PLANTA
ATRAPA NIEBLAS
ESC: 1:75

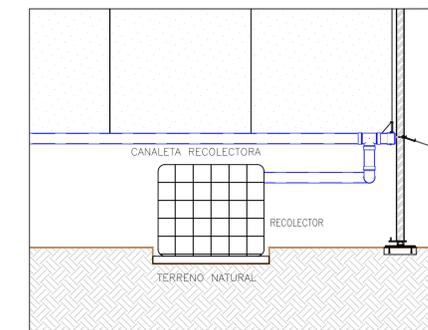


CORTE
ENGANCHE SUPERIOR DE CABLE



CORTE
ENGANCHE INFERIOR DE CABLE

DETALLE N°3
ESC: 1:10



DETALLE N°4
RECOLECTOR
ESC: 1:50



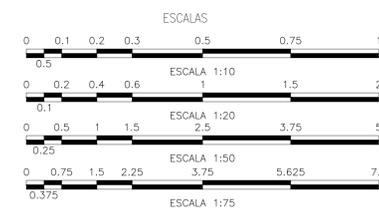
Imagen tomada de internet: Elette Angel. El futuro de niebla de agua dulce en Chile (en línea). 15/04/2015. disponible en: <http://www.scidov.net/global/water/multimedia/the-foggy-future-of-fresh-water-in-chile.html>



Imagen tomada de internet: Elette Angel. El futuro de niebla de agua dulce en Chile (en línea). 15/04/2015. disponible en: <http://www.scidov.net/global/water/multimedia/the-foggy-future-of-fresh-water-in-chile.html>



Imagen tomada de internet: Ruiz Oristian. Atrapanieblas (en línea). 15/04/2015. disponible en: http://www.flickr.com/photos/crua_11/330075090/n/photoset/



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO

ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS
HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

NIEBLA COMO FUENTE ALTERNATIVA
PARA SUMINISTRO DE AGUA
TRABAJO DE GRADO

ELABORADO POR:

MANUEL ANTONIO SORIANO MATEUS
Código: 2105010

DIRECTOR DEL TRABAJO:

GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS

ESCALA INDICADAS

FECHA MAYO DE 2015

**ANEXO 2 INFORMACIÓN
METEOROLÓGICA**

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES
 SISTEMA DE INFORMACION DE TEMPERATUR (oC) NACIONAL AMBIENTAL
 VALORES MEDIOS MENSUALES DE
 FECHA DE PROCESO : 15/04/2015 ESTACION : 21235010 JERUSALEN
 LATITUD 433 N TIPO EST CO DEPTO CUNDINAMAF FECHA-INSTAL 1974-NOV
 LONGITUD 7441 W ENTIDAD 1 IDEAM MUNICIPIO JERUSALEN FECHA-SUSPENSION
 ELEVACION 316 m.s.n.m REGIONAL 10 TOLIMA CORRIENTE QDA CORRALITOS

| A#O | EST | ENT | ENERO | FEBRE | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOST | SEPTI | OCTUB | NOVIE | DICIE | VR ANUAL | |
|------|-----|---------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------|
| 1975 | 1 | 1 | | | | 25.5 | 26.3 | 25.6 | 26.5 | 25.2 | 26.2 | 26.2 | 26.1 | 25.4 | 24.9 | 25.8 |
| 1976 | 1 | 1 | 26.3 | 26.7 | 26.2 | 25.5 | 25.7 | 25.6 | 27.7 | 29.2 | 30.2 | 27.6 | 26.3 | 26.6 | 27 | |
| 1977 | 1 | 1 | 28.6 | | | 26.9 | 27.1 | 27.6 | | 28.3 | 28.9 | 27.1 | 27.2 | 29 | 27.9 | |
| 1978 | 1 | 1 | 28.8 | 29.6 | 28.4 | 26.4 | 28.9 | 26.5 | 27.2 | 28.8 | 28.6 | 27.3 | | | 28 | |
| 1979 | 1 | 1 | | | | 27.6 | | | | | | | | | 28.3 | |
| 1980 | 1 | 1 | | | | | 29.8 | 30 | 30.3 | 30.8 | 30.3 | 29.7 | 28.4 | 27.9 | 27.8 | 29.4 |
| 1981 | 1 | 1 | 29 | 28.9 | 30.9 | 31 | 29.5 | 30 | 29.7 | 29 | 29.5 | 27.8 | 27.5 | 28.5 | 29.3 | |
| 1982 | 1 | 1 | 28.2 | 27.5 | 28.4 | 28.4 | 27.2 | 28.5 | 28.4 | 31.1 | 29.9 | 27.1 | 27.2 | 27.7 | 28.3 | |
| 1983 | 1 | 1 | 28.6 | 28.7 | 29.1 | 28 | 28.5 | 29 | 29.2 | 29.5 | 28.6 | 28.2 | 26.5 | 27.4 | 28.4 | |
| 1984 | 1 | 1 | | 26.9 | 27.4 | 28 | 27.1 | 27.2 | 28.2 | 28.9 | 27 | 26.9 | 26.1 | 27.4 | 27.4 | |
| 1985 | 1 | 1 | 28.2 | 29 | 28.8 | 27 | 27.2 | 27.7 | 28.5 | 28.8 | 28.1 | 27.1 | 26.8 | 28.7 | 28 | |
| 1986 | 1 | 1 | 27.9 | 27.2 | 27 | 26.9 | 26.9 | 27 | 28.6 | 29.4 | 28.9 | 27.6 | 27.7 | 29.5 | 27.9 | |
| 1987 | 1 | 1 | 30.4 | 29.7 | 28.9 | 28.7 | 28.8 | 28.8 | 29.2 | 28.5 | 28.8 | 27.1 | 28.4 | 28.8 | 28.8 | |
| 1988 | 1 | 1 | 29.8 | 28.9 | 29.7 | 28.8 | 28.8 | 28.3 | 28.4 | 28.2 | 29.1 | 28.9 | 28.1 | 28.4 | 28.8 | |
| 1989 | 1 | 1 | 28.9 | 27.8 | 27.7 | 28.5 | 28.2 | 28.4 | 28.8 | 28.7 | 28.3 | 28.6 | 29.6 | 29.2 | 28.6 | |
| 1990 | 1 | 1 | 29.6 | 28.9 | 28.7 | 29 | 28 | 28.7 | 28.6 | 29.8 | 29 | 26.6 | 26.8 | 26.8 | 28.4 | |
| 1991 | 1 | 1 | 28.9 | 29.6 | 27.6 | 27.4 | 27.1 | 27.6 | 28.1 | 28.5 | 29.2 | 27.9 | 26.5 | 27.6 | 28 | |
| 1992 | 1 | 1 | 28.2 | 29 | 29.8 | 29.1 | 27.5 | 28.4 | 28.1 | 28.6 | 27.7 | 27.1 | 26.7 | 27 | 28.1 | |
| 1993 | 1 | 1 | 27.2 | 27.7 | 27.8 | 27.4 | 26.9 | 27.7 | 28.3 | 29.2 | 28 | | 26.6 | 27.4 | 27.7 | |
| 1994 | 1 | 1 | 27.8 | 27.1 | 27.4 | 27.1 | 26.8 | 27.1 | 28.8 | 29.2 | 29.6 | 27.4 | 27 | 27.6 | 27.7 | |
| 1995 | 1 | 1 | 29.2 | 30 | 28.4 | 28.4 | 27.6 | 28.3 | 28.7 | 28.6 | 29 | 28.2 | 28.5 | 27.6 | 28.5 | |
| 1996 | 1 | 1 | 28.1 | 28 | 27.5 | 27.9 | 27.5 | 27.5 | 28 | 28.5 | 28.4 | 28 | 29 | 28.7 | 28.1 | |
| 1997 | 1 | 1 | 27.9 | 29.1 | 28.9 | 28 | 28 | 28 | 29.4 | 30 | 29.6 | 28.7 | 27.7 | 28.6 | 28.7 | |
| 1998 | 1 | 1 | 29.3 | 29 | 29.5 | 28.4 | 27.7 | 28.1 | 29 | 29.6 | 28.3 | 28 | 26.6 | 26.6 | 28.3 | |
| 1999 | 1 | 1 | 26.6 | 26.2 | 27.2 | 26.8 | 26.9 | 26.4 | 27.7 | 28.9 | 26.9 | 26.3 | 26.5 | 26.6 | 26.9 | |
| 2000 | 1 | 1 | 27.4 | 27.3 | 27 | 26.8 | 26.6 | * | 27.8 | 28.7 | 26.7 | 26.9 | 26.6 | 26.9 | 27.2 | |
| 2001 | 1 | 1 | 27.5 | 27.9 | 26.7 | 27.9 | 27.8 | 28.3 | 28.8 | 30.1 | 29 | 28.7 | 26.9 | 27.5 | 28.1 | |
| 2002 | 1 | 1 | 29.2 | 29.1 | 28.3 | 26.7 | 27.9 | 27.2 | 28 | 29.6 | 29 | 28 | 27.2 | 27.3 | 28.1 | |
| 2003 | 1 | 1 | 28.9 | 29.1 | 28.3 | 27.8 | 28.2 | 28 | 29.4 | 30.4 | 28.8 | 27 | 26.4 | 27.5 | 28.3 | |
| 2004 | 1 | 1 | 28.7 | 28.9 | 28.9 | 27.4 | 27.7 | 28.3 | 27.7 | 30.2 | 29.1 | 27.2 | 27.3 | 27.1 | 28.2 | |
| 2005 | 1 | 1 | 27.8 | 28.8 | 29.2 | 28.8 | 27.8 | 28.1 | 29.2 | 29.9 | 30.3 | 28.1 | 27.3 | 26.9 | 28.5 | |
| 2006 | 1 | 1 | 27.6 | 28.5 | 27.3 | 27.2 | 28.1 | 28 | 29.3 | 30.1 | 29 | 27.7 | 26.9 | 27.2 | 28.1 | |
| 2007 | 1 | 1 | 30.1 | 28.6 | 28.6 | 27.8 | 27.1 | 27.4 | 28.6 | 28 | 29.1 | 27.6 | 26.6 | 26.4 | 27.9 | |
| 2008 | 1 | 1 | 27.6 | 27.5 | 27.6 | 27.5 | 26.8 | 27.6 | 28.7 | 28 | 27.3 | 27 | 26.6 | 27.1 | 27.4 | |
| 2009 | 1 | 1 | 27.1 | 27.4 | 26.9 | 27.8 | 27.6 | 27.6 | 29 | 29.9 | 29.9 | 28.5 | 27.3 | 28.1 | 28.1 | |
| 2010 | 1 | 1 | 29.3 | 30.1 | 29.9 | 28.1 | 27.9 | 27.2 | 27.3 | 28.2 | 28.1 | 27.8 | 26.9 | 26.5 | 28.1 | |
| 2011 | 1 | 1 | 28.3 | 27.9 | 27.7 | 26.8 | 26.9 | 28.6 | 29.2 | 29.8 | 29.5 | 27 | 26.4 | 27.1 | 27.9 | |
| 2012 | 1 | 1 | 27.2 | 27.6 | 28.4 | 27.5 | 27.6 | 28.7 | | | | | | | 27.8 | |
| 2013 | 1 | 1 | 29.1 | | | | | | | | | | | | 29.1 | |
| | | MEDIOS | 28.3 | 28.4 | 28.1 | 27.8 | 27.6 | 27.9 | 28.5 | 29.1 | 28.7 | 27.6 | 27.1 | 27.5 | 28.1 | |
| | | MAXIMOS | 30.4 | 30.1 | 30.9 | 31 | 30 | 30.3 | 30.8 | 31.1 | 30.3 | 28.9 | 29.6 | 29.5 | 31.1 | |
| | | MINIMOS | 26.3 | 26.2 | 25.5 | 25.5 | 25.6 | 25.6 | 25.2 | 26.2 | 26.2 | 26.1 | 25.4 | 24.9 | 24.9 | |

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA

SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica

VALORES MENSUALES DE DIRECCIÓN PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/seg)

ESTACIÓN : 2120639 MESA LA

| | | | | | | | | |
|-----------|--------------|-------------|--------------------|---------------|-----------|----------|-------------------|------------|
| Latitud | 0438 N | X=N=1003360 | Departamento | CUNDINAMARCA | Corriente | R. APULO | Categoría | CP |
| Longitud | 7426 W | Y=E=957190 | Municipio | LA MESA | Cuenca | R. APULO | Fecha Instalación | 09/01/1985 |
| Elevación | 1300 m.s.n.m | | Oficina Provincial | 13 TEQUENDAMA | | | Fecha Suspensión | |

| AÑO | | ENERO | FEBRE | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOST | SEPTI | OCTUB | NOVIE | DICIE |
|------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1991 | N | 1.5 N | 1.5 N | 1.4 N | 1.4 N | 1.4 N | 1.4 N | 1.5 N | 1.7 N | 1.7 SW | 1.6 SW | 1.4 | |
| 1992 | SW | 1.3 SW | 1.2 SW | 1.4 | SW | 1.4 SW | 1.7 SW | 1.6 S | 1.7 S | 1.8 N | 1.7 S | 1.5 S | 1.5 |
| 1993 | S | 1.4 S | 1.5 S | 1.4 S | 1.4 S | 1.4 S | 1.4 S | 1.5 S | 1.7 S | 1.6 S | 1.5 S | 1.3 S | 1.3 |
| 1994 | S | 1.4 S | 1.5 N | 1.6 S | 1.6 S | 1.5 S | 1.3 S | 1.4 |
| 1995 | N | 1.6 NW | 1.8 S | 1.4 SE | 1.4 S | 1.4 N | 1.4 S | 1.4 SW | 1.5 N | 1.6 S | 1.4 S | 1.4 S | 1.4 |
| 1996 | NW | 1.4 S | 1.3 S | 1.3 N | 1.4 N | 1.4 S | 1.3 N | 1.5 SE | 1.5 S | 1.5 S | 1.4 S | 1.3 N | 1.4 |
| 1998 | | | | | | | | | | NE | 2.1 SW | 1.7 SW | 1.7 |
| 1999 | SW | 1.7 W | 1.7 W | 1.9 | | | W | 1.9 | | | | | |
| 2003 | SW | 1.9 NE | 2.3 SW | 1.9 NE | 1.8 SW | 1.8 SW | 1.7 SW | 2 SW | 2.1 SW | 2.1 SW | 1.1 SW | 1.1 SW | 1.1 |
| 2004 | SW | 1.1 SW | 1.2 SW | 1.2 SW | 1.1 SW | 1.1 SW | 1.2 SW | 1.1 SW | 1.1 SW | 1.1 SW | 1.1 SW | 1.2 SW | 1.1 |
| 2006 | SW | 0.7 SW | 0.8 W | 0.7 NE | 0.6 E | 0.7 NE | 0.7 SW | 0.7 SW | 0.8 SW | 0.8 SW | 0.7 SW | 0.6 SW | 0.6 |
| 2007 | | | SW | 0.6 NE | 0.6 | | NE | 1.9 NE | 1.8 NE | 1.8 NE | 1.8 NE | 1.9 SW | 1.9 |
| 2008 | NE | 1.4 NE | 1.8 NE | 1.8 NE | 1.7 NE | 1.6 NE | 1.7 NE | 1.7 NE | 1.9 NE | 1.9 NE | 1.8 NE | 1.6 N | 1.8 |
| 2009 | NE | 1.6 NE | 1.7 NE | 1.7 NE | 1.7 NE | 1.7 | | NE | 1.8 NE | 2 NE | 2.1 N | 1.7 NE | 1.8 |
| 2010 | NE | 1.9 N | 2 N | 2 N | 1.8 N | 1.6 N | 1.7 NE | 1.6 NE | 1.7 NE | 1.8 NE | 1.7 NE | 1.6 NE | 1.6 |
| 2011 | NE | 1.2 NE | 1 NE | 1.7 NE | 1.7 NE | 1.6 NE | 1 SE | 1.9 NE | 1.4 NE | 1.8 N | 1.7 NE | 1.5 NE | 1.5 |
| 2012 | NE | 1.1 NE | 1.1 NE | 1.7 NE | 1.5 NE | 1.6 NE | 1.7 NE | 1.7 NE | 1.6 NE | 1.5 SW | 1.6 NE | 1.3 NE | 1.4 |
| 2013 | NE | 1.4 NE | 1.5 NE | 1.4 NE | 1.6 | | SW | 1.8 NE | 1.9 | | | | |

ANEXO 3 ANÁLISIS NDVI

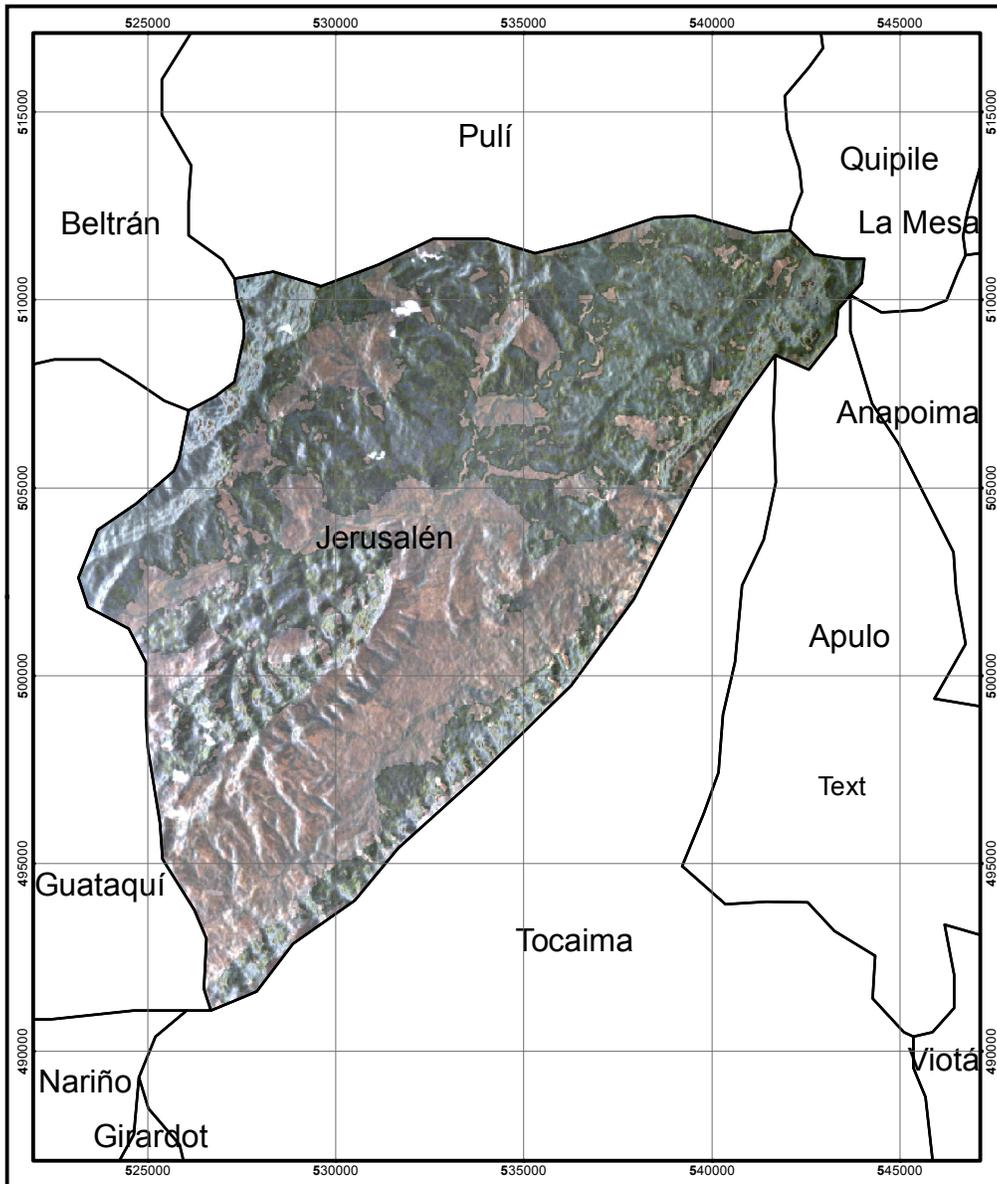


Imagen LANDSAT municipio de Jerusalén
RGB: 3,2,1

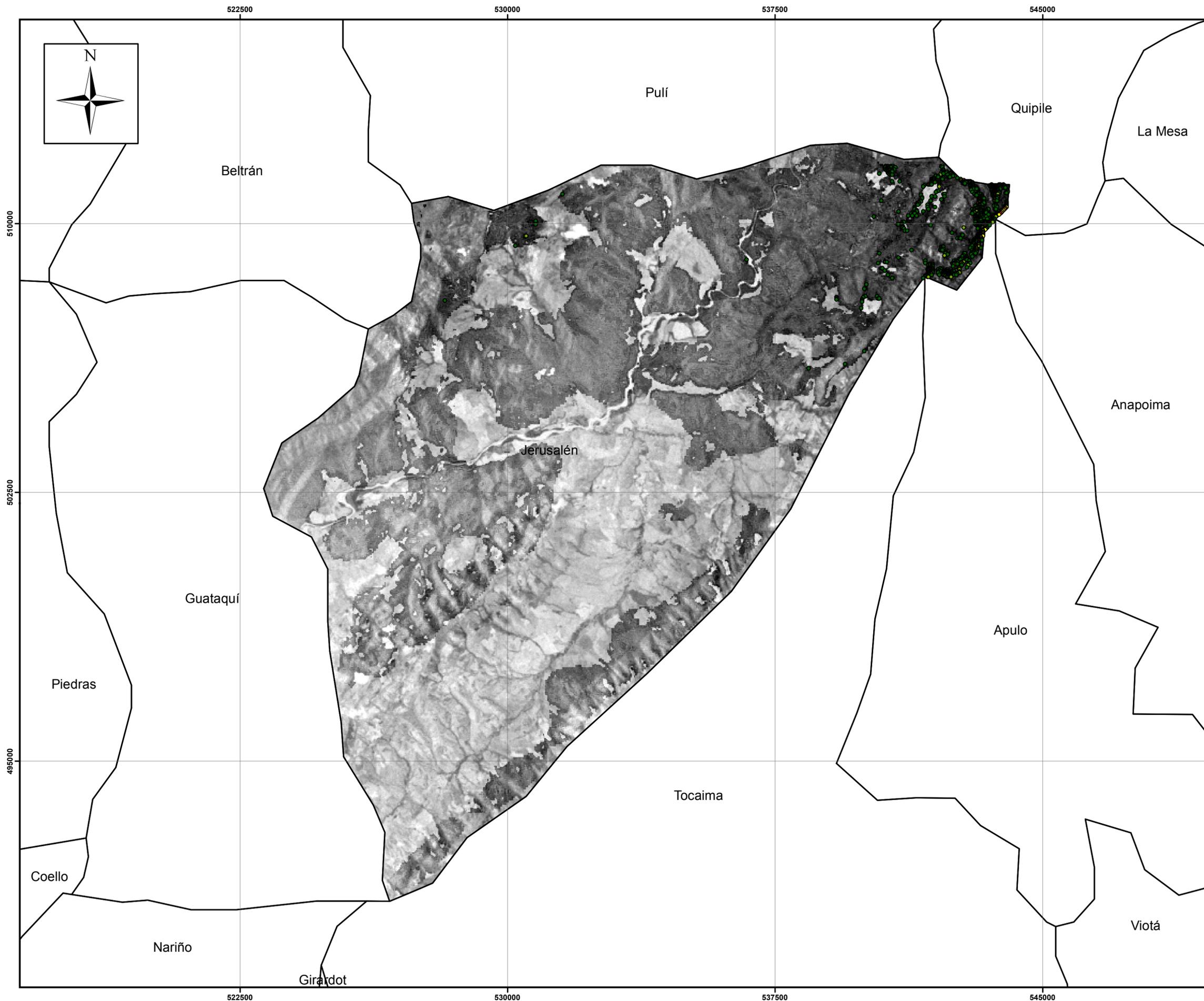
Leyenda

ESCALA 1: 200.000



 Limite municipal

Proyección:
Transversal Mercator UTM zone 18
Datum:
Sistema geodésico WGS 84



Análisis NDVI Jerusalén Cundinamarca

Convenciones

NDVI > 0.7

Intervalos

- 0.700 - 0.741
- 0.741 - 0.783
- 0.783 - 0.824
- 0.824 - 0.865
- 0.865 - 0.906

Limites

Limite Municipal

1:75 000



Escuela Colombiana de Ingeniería
Julio Garavito

Especialización en recursos
hidráulicos y medio ambiente

Trabajo de grado

Neblina como fuente alternativa
para suministro de agua

Elaborado por:
Manuel Antonio Soriano Mateus
Código: 2105010

Director del proyecto:
Germán Ricardo Santos Granados

**ANEXO 4 INFORMACIÓN
RECOPIADA (MEDIO MAGNÉTICO)**